

OPTIKAI TÁVOLSÁGMÉRÉS LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA

ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF THE OPTICAL DISTANCE MEASURING

*Bodolai Tamás**

ABSTRACT

Aim of the research work presented in this paper is determination of application possibilities and reliability of line scan cameras for motion and acceleration measurement. The question is what conditions have to be fulfilled to replace laser distance sensors by line scan camera for contactless vibration measurement, and how the range of the vibration frequency can be increased by the new method.

1. BEVEZETÉS

A line scan kamera egy olyan speciális digitális kamera, amelynek szenzorjában az érzékelő pixelek egy sorban helyezkednek el. Ezeket a kamerákat az ipar számára, olyan területekhez fejlesztették ki, ahol a termékek valamilyen továbbító rendszeren folyamatosan mozgásban vannak. Ilyen kamerával megoldható, hogy a termékekről azok megállítása nélkül készítsünk nagyfelbontású képeket.

Az elsődleges ok, ami miatt felmerülhet, hogy ilyen kamerákat méréshez használják, az a magas sorsfrekvenciájuk. A fenti példára utalva, napjainkban egy csúcskategóriájú lézeres távolságmérő, amit rezgésméréshez használhatunk, maximum 20 kHz-es működési frekvenciával dolgozik. Ugyanakkor, line scan típusú kamerából általánosan elérhető a 80000 sorsfrekvenciájú, amely egy mérés során 80 kHz-es mintavételezési frekvenciának felel meg. Azokra az esetekre, amikor érintésmentes mérésre van szükség, de a lézeres távolságmérők kínálta működési frekvencia nem elegendő, jelenleg a méréstechnikának nincs megoldása. Úgy gondolom, hogy ilyen esetekben a line scan kamerák használata jó eredményt hozhat.

2. LEHETSÉGES MÉRÉSI ELVEK

A line scan kamera egy felvétele (frame) mindössze egy vonalból áll. Működését leginkább egy szkennerekhez hasonlítva lehet elképzelni. Éppen ezért a felületet, illetve mintát, amelyet a kamera lát, célszerű egyenes vonalakkól, fekete-fehér sávokból felépíteni. Itt jegyzem meg, hogy a mért tárgy felületére ragasztott minta ellenére, az alábbiakban ismertetett mérési módokat érintésmentesnek tekintem.

Egy, a kamera optikai tengelyén mozgó, arra merőleges felület mozgásának mérésére több lehetőség is van.

Az első kézenfekvő megoldás, hogy a kamera képén a fekete-fehér sávok pozíciója változzon, a felület mozgásának hatására.

A másik lehetőség már egy kicsit összetettebb. A fényképészetben sokszor problémát okoz, elsősorban makro-, illetve mikrofelvételek készítésekor a mélységélesség, azaz egy kontrasztos átmenet – esetünkben fekete-fehér átmenet – homályosan jelenik meg a képen. A fényképészetben ez a jelenség hibának fogható fel, eltekintve a művészi alkalmazástól. Azonban megfelelően felhasználva kiválóan alkalmazható távolság- és rezgésmérésre.

A harmadik elv, amelyet felhasználhatunk, a perspektivikus torzítás. Ennek a hatása leginkább akkor szembetűnő, amikor egy magas építményt akar az ember lefotózni közelről. A képeken általában szembetűnő, hogy az építmény valóságban párhuzamos élei a képen összetartanak.

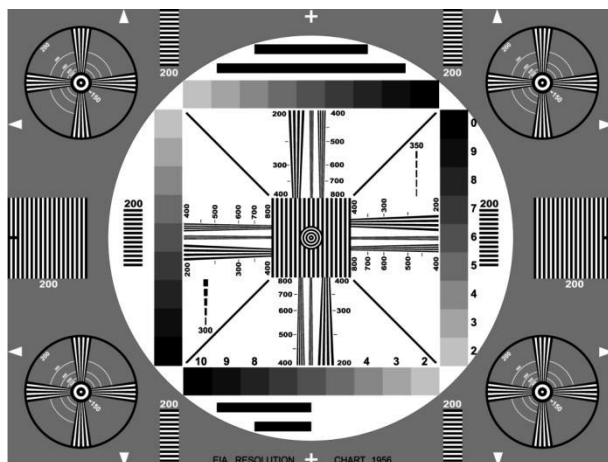
A továbbiakban a teljesség igénye nélkül bemutatok néhány, a gyakorlatban is használható mérési módszert. A fenti elvek egymást kiegészítve is felhasználhatók.

*egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai –
Elektronikai Tanszék

3. MÉRÉSI MÓDSZEREK

3.1. Felbontásmérés alapján

A televíziók, monitorok, projektorok felbontását különböző tesztképek segítségével lehet mérni és beállítani. Egy ilyen tesztábra látható a következő képen.(1. ábra)



1. ábra EIA 1956 Resolution Chart^[1]

Egy ilyen kép lényege, hogy különböző sűrűséggel összetartó vonalak helyezkednek el rajta. Ennek segítségével a felbontás úgy mérhető, hogy az összetartó vonalak mentén megkeresik azt a pontot, ahol még el lehet különíteni két egymás mellett lévő vonalat. A vonalak melletti skáláról olvasható le a felbontás értéke.

Ezt az elvet át lehet ültetni a kamerás távolságmérésbe is. A mérendő tárgy felületére elhelyezhetünk egy olyan mintát, amelyen különböző sűrűségű vonalak vannak párhuzamosan. Amikor a felület a kamera előtt pontosan az éles síkban helyezkedik el, akkor több vonalat lehet megkülönböztetni, mint amikor a felület elmozdul valamelyik irányba. Ekkor ugyanis a sűrűn elhelyezkedő vonalak az élesség csökkenésnek köszönhetően már nem lesznek megkülönböztethetők. Ezt az elvet illusztrálja a 2. ábra..



2. ábra Különböző sűrűségű vonalak

A módszernek több hátrány is van. Az első az előző sorokból hallgatólagosan kiderült. Homályos képet kapok akkor is, ha az éles síktól a kamera felé, és akkor is, ha ellentétesen mozdul el a felület. Ezt a problémát ki

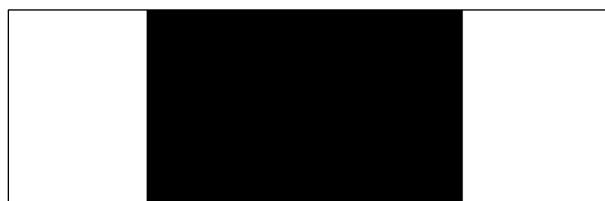
lehet küszöbölni, ugyanis ahhoz, hogy egy kamerát ezzel az elvvel lehessen használni, a tárgytávolságot nem lehet nagyra választani, azaz közelfényképezésről beszélünk, amelynek természetes velejárója a kép nagyobbodása a tárgy közeledésével, és kisebbedése annak távolodásával. Tehát a módszert kombinálva két vonal távolságának mérésével, amelyek a minta szélén, jól elkülöníthetően vannak elhelyezve, ez a probléma orvosolható. A nagyobbik gond az, hogy ilyen módszerrel a mérés felbontása erősen korlátos. Példának okáért egy 6144 pixellel rendelkező szenzor esetén a mérési tartományt hozzávetőlegesen 20-50 tartományra lehetne osztani, amely a mai viszonylatokban már elfogadhatatlan.

3.2. Életlenség mérése alapján

Hasonlóan az előző módszerhez a kép-, tárgytávolság, objektív fókusztávolsága, rekesznyílása úgy van megválasztva, hogy a kívánt méréstartományon belül a mérendő felületre ragasztott minta az éles síktól előre és hátra erősen homályosodjon.

Azt, hogy egy valóságban kontrasztos átmenet a felvételen mennyire lesz életlen, a szóródási kör határozza meg. Ha egy fényképezőgép éles síkjában elhelyezünk egy fehér lapot, amelyen egy fekete pont van, akkor a felvételen is egy pontot fogunk látni. Azonban, ha az éles sík előtt vagy mögött helyezzük el, akkor a felvételen már egy nem kontrasztos szélű folt fog megjelenni, amely annál nagyobb, minél messzebb van az éles síktól.

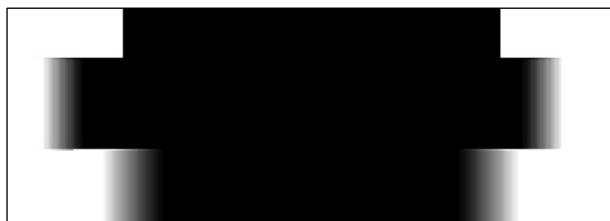
A mintát ennél a módszernél úgy kell kialakítani, hogy a kamera látóterében csupán két darab átmenet legyen, ami praktikusán egy széles vonallal oldható meg (3. ábra).



3. ábra Egy vonalból álló minta

A line scan kamera a fenti képből természetesen csak egy sort lát, és azt is csak akkor ilyen élesen, ha a felület éppen az éles síkban helyezkedik el. Amennyiben viszont elmozdul onnan, a kontrasztos átmenet homályossá válik. Az életlenség mértékét megfelelő matematikai algoritmussal meg lehet határozni, amelyből ezután az optikai paraméterek felhasználásával meghatározható a felület elmozdulása. Azt, hogy a felület a kamera felé vagy ellenében mozdult el, a két átmenet távolságának mérésével lehet megállapítani. A kamera felé elmozduló felület esetén

az átmenetek távolodnak egymástól. A 4. ábra az elv egy szimulált eredményét mutatja. Fentről lefelé: éles sík, kamerához közelebbi, távolabbi felület.



4. ábra Éles, közelebbi, távolabbi felület

A módszer előnye, hogy a fentebb már példaként említett, csupán 6144 pixeles kamerával is igen jó felbontású mérést lehet elérni, ami persze erősen függ a felhasznált algoritmus teljesítményétől is. Ezen felül a mérés eredményét nem befolyásolja, ha az optikai tengelyre merőleges síkon mozdul el a mérendő felület, feltételezve, hogy a használt minta a kamera látóterében marad.

A módszernek hátránya is van. Ha szeretnénk kihasználni az ilyen kamerák által biztosított magas mintavételi frekvenciát, akkor olyan megoldásban kell gondolkodnunk, amely egy hardveres előfeldolgozóval képes a kamera által szolgáltatott hatalmas adatmennyiséget olyan mértékűre redukálni, hogy az egy folyamatos mérés esetén is lementhető legyen. Ezt célszerű FPGA-val (Field-programmable gate array) megoldani. Ennél a módszernél ezalatt azt kell érteni, hogy valamilyen hardveres előfeldolgozónak kell meghatározni az élettenségek mértékét és a két átmenet távolságát. Ez önmagában nem okozna gondot, viszont a kamerák nagy adattovábbítási frekvenciájának köszönhetően az FPGA-ban alkalmazható lépések száma (egy soros ágba) erősen korlátozott. Ily módon kétséges, hogy megvalósítható-e a megfelelő eredményt szolgáltatató algoritmus.

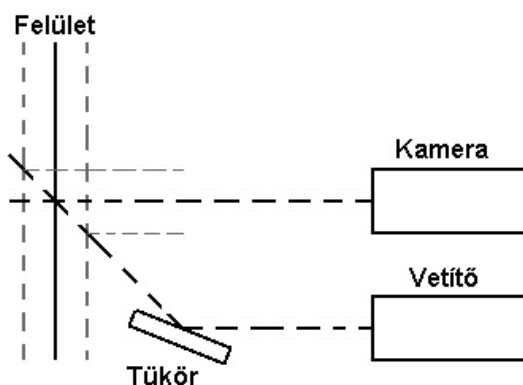
3.3. Vetítéses módszer

Amikor line scan kamerák alkalmazásában gondolkodunk, nem szabad megfeledkeznünk egy nagyon fontos dologról. Ez a megvilágítás erőssége. Ha egy átlagos digitális fényképezőgéppel szeretnénk például a családról képet készíteni, akkor a gép ISO 100-as fényérzékenység mellett beltéren hozzávetőlegesen 1/20 másodperces záridővel, kültéren 1/1000 másodperces záridővel dolgozna. Utóbbi azt jelentené a mérésünkben, hogy másodpercenként 1000 felvételt tud készíteni a kamera. A line scan kamerák pixelmérete általában kisebb a szokványos digitális fényképezőgépekben használatostól, ami azt jelenti, hogy ugyanolyan körülmények között több fényre van szüksége az azonos minőségű felvétel elkészítéséhez. A

cél persze a másodpercenkénti 80000 sor, ezért a felületet első közelítésben 80-szor erősebben kell megvilágítani a kinti fényképezéshez viszonyítva. Összességében elmondható, hogy amennyiben mérésre akarunk használni egy ilyen kamerát, feltétlenül gondoskodnunk kell erős, fókuszált megvilágításról, amit célszerűen vetítógéppel oldhatunk meg.

A mérési módszer lényege, ha már mindenképp szükségünk van egy reflektorra, vetítógépre, akkor nincs akadálya, hogy a mérendő felületre vetítsünk valamilyen mintát. A mérési elv a következő.

A vetítógéppel egy kontrasztos vonalat vetítünk a mérni kívánt felületre. Azonban a vetítés iránya a felület normálisával egy viszonylag nagy szöget zár be egy tükör segítségével, ahogy az a következő ábrán is szemléltetve van (az ábrán a szög 45°). A kamera a felvételeket a vetített vonalat keresztezve készíti. Amikor a felület közeledik vagy távolodik a kamerától, a vetítési szögnek köszönhetően a vonal pozíciója a kamera felvételén meg fog változni. Az 5. ábrán a távolabbi, és közelebbi felületen elhelyezkedő vonal pozícióját szaggatott vonallal jeleztem.



5. ábra Vetítéses mérési elv

A mérési elv viszonylag egyszerű, azonban a kivitelezésénél néhány fontos szempontot figyelembe kell vennünk.

Az első lényeges pont, hogy a vetítőberendezést, a kamerát, a tükröt mereven egybe kell építeni, ugyanis csak így biztosítható, hogy álló felület esetén a vonal ne mozogjon. Talán ez a legkritikusabb pontja a módszernek. A merev összeépítés a kamera és a vetítő esetén nem okoz gondot, mert azok elhelyezkedhetnek közvetlenül egymás mellett is, de a tükör már problémát okozhat. A tükröt a kellő vetítési szög elérése érdekében a felülethez viszonylag közel kell elhelyezni, viszont a vetítőt és a kamerát az élettenség elkerülése végett a felülettől távolabb. Az élettenség egy bizonyos pontig nem okoz gondot, amennyiben egy vastagabb vonalat vetítünk a felületre. Éppen ezért egy ilyen rendszer tervezésénél mind a vetítő, mind a kamera esetén

figyelembe kell venni a mélységelesség közeli (t_k) és távoli(t_t) határait, amelyek a tárgy távolságtól (t), fókusz távolságtól (f), a rekeszértéktől (R) és a szóródási körtől (z) függenek. ^[2]

$$t_k = \frac{t \cdot f^2}{f^2 + R(t-f) \cdot z} \quad (1)$$

$$t_t = \frac{t \cdot f^2}{f^2 - R(t-f) \cdot z} \quad (2)$$

Az összefüggésekből és a mérési elvből is jól látszik, hogy a mérési módszer azokban az esetekben alkalmazható igazán, amikor a felület elmozdulása néhány milliméter, esetleg centiméter. Ebben az esetben ugyanis a kamerát és a vetítőt nem szükséges a felülettől nagyon messze tenni, ugyanakkor alkalmazhatunk kellően nagy vetítési szöget is.

Bizonyos esetekben a módszer nagy előnyének tekinthető, hogy nem szükséges a mérendő felületre mintát ragasztani, bár megjegyzem, hogy a megfelelő eredmény érdekében célszerű, ha a felület matt és fehér.

Nagy előnye a berendezésnek, hogy a hardveres előfeldolgozóknak csak a fekete-fehér átmeneteket kell detektálnia és azok pozícióját átlagolni, amely manapság már egy FPGA-val problémamentesen megoldható.

Végiggondolva a mérés elvét az is szembe tűnő, hogy a felvételen a vonal pozíciójának megváltozása egyenesen arányos a felület elmozdulásával (nagy tárgy távolság esetén). Azt, hogy a felvételen egy pixel elmozdulásnak a felület milyen mérvű elmozdulása felel meg, elsősorban a vetítés szöge határozza meg. Ezen felül az alkalmazott objektív nagyítása is fontos tényező. Minél nagyobb a nagyítás és minél nagyobb a vetítés szöge az optikai tengelyre nézve, annál nagyobb lesz a felvételen az elmozdulás.

Ahogy az előző mérési elvnel sem, itt sem okoz gondot, ha felület az optikai tengelyre merőleges síkon mozog. Sőt az sem feltétlenül gond, ha a felület nem teljesen egyenes, esetleg dőlt. A rendszer ezekben az esetekben is az optikai tengelyen történő elmozdulást fogja mérni.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatási témám keretében arra keresem a választ, hogy a nagy sorsfrekvenciával bíró line scan kamerák milyen módon, milyen esetekben használhatóak elmozdulás- és elsősorban rezgésmérés céljára.

Az utoljára bemutatott mérési elv egyaránt használható távolság- és rezgésmérésre, ugyanis a berendezés elemeinek és paramétereinek megfelelő megválasztásával lényegében bármilyen tartomány lefedésére alkalmassá tehető ésszerű határok között.

A homályosodás elvére ezt már nem lehet elmondani, ugyanis az életlenség elsősorban az objektív leképezési arányától (nagyítás) és a tárgy távolságtól függ. Nagymértékű homályosodást kis fókusz távolságú objektívvel, kis tárgy távolsággal érhetünk el. Ez természetesen nem okoz problémát, ha valaki, mint én is, kis amplitúdójú rezgéseket szeretne mérni ezzel a módszerrel. Itt a komoly problémát a hardveresen megoldandó előfeldolgozó algoritmus jelenti.

A legelső elv az alacsony felbontóképesség miatt semmilyen mérés esetén nem jöhet szóba.

Összességében azt mondhatom, hogy a vetítéses elv univerzálisabban használható, kivitelezhető berendezést eredményezhet, azonban ha valaki kis amplitúdójú mozgásokat akar mérni nagy sebességgel, akkor a homályosodás elve egy jóval pontosabb, kisebb, kompaktabb érzékelőt eredményezne.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. IRODALOM

- [1] JOHN M. EVANS LLC, Standards for Visual Acuity, 2006
- [2] SÁRKÓZI Z., DR. SEVCSIK J., KÚN M., Fotósok könyve, 1977