

Megvilágítás a gépi látásban

Hogyan válasszuk ki a megfelelő megvilágítást?

A gépi látórendszerek megvilágítása gyakran háttérbe szorul a tervezés során, pedig kulcsfontosságú a képminőség és a hatékonyság szempontjából. A nem megfelelő fényforrás tükröződések, sötét vagy épp túlexponált területeket okozhat. Éppen ezért fontos, hogy olyan megvilágítási technológiát válasszunk, ami illeszkedik mind a felhasználási célhoz, mind az egész rendszerhez.

Nézzük meg, milyen típusú fények alkalmasak gépi látáshoz és mire érdemes figyelni a kiválasztás során.

Megvilágítási típusok a gépi látásban

A megfelelő megvilágítás kiválasztása döntő fontosságú az ellenőrzési feladat hatékonysága szempontjából. Például másfajta fényt használunk repedések észlelésére, mint színek megkülönböztetésére.

A leggyakrabban **LED fényforrásokat** alkalmaznak, mert olcsóbbak és hatékonyabbak, mint például a halogénlámpák vagy a fénycsővek.

Bar light

A bar light egyenes vonalban bocsátja ki a fényt, egyenletesen megvilágítva a felületet. Több bar light is kombinálható, így a tárgy több irányból is megvilágítható. Ezt a megoldást gyakran használják akkor, amikor a tárgy egyes részeit kell külön kiemelni.

A bar lightokat sokszor **darkfield megvilágítással** együtt alkalmazzák, mert így a felületi karcok és hibák rendkívül jól láthatóvá válnak.



Ring light

A ring light körkörös, árnyékmentesen világítja meg a tárgyat. Tipikus **elülső megvilágítási** forma, amely növeli a kép kontrasztját.

Rugalmasan használható, ezért igazi „mindenes” megoldásnak számít a megvilágítási technikában.

Különösen kedvelt **hengeralakú tárgyak minőségellenőrzésénél**, mivel körkörös fénye egyenletes megvilágítást biztosít.



 virtech

Back light

Ennél a technikánál a tárgyat **hátról világítják meg**, így jól kirajzolódnak a körvonalai, illetve könnyen észrevehetőek a lyukak, légbuborékok vagy karcok.

A back light gyakori megoldás **címkék vagy nyomtatott papírok minőségellenőrzésénél** is. Fontos megjegyezni, hogy ilyen megvilágítás mellett a felület textúrájára vonatkozó információk elvesznek.



 virtech

Dark field light

A fény lapos szögben éri a tárgyat, így nem világítja meg annak minden oldalát. Ennek eredményeként az apró hibák és karcok erős kontraszttal jelennek meg. Különösen **átlátszó tárgyak**, például üveg vagy fólia vizsgálatánál hasznos, mert az oldalról érkező fény nem hoz létre árnyékokat vagy zavaró tükröződések.

Diffúz megvilágítás

A szórt (diffúz) fény egyenletesen oszlik el a tárgyon, így csökkenti a tükröződések és a kontrasztkülönbségeket. Gyakran kombinálják gyűrű- vagy fényrudas megvilágítással, és elsősorban **fényes vagy polírozott felületek vizsgálatánál** alkalmazzák.

Front light

Ebben az esetben a fény közvetlenül a tárgyra esik. Bizonyos felületeknél ez tükröződést, illetve túl világos vagy túl sötét részeket eredményezhet. Ezért például **fémes vagy csillogó tárgyak ellenőrzésekor** gyakran más típusú megvilágítást célszerű használni.

A beesési szög szerepe a megvilágításban

A fény beesési szöge nagyban befolyásolja, hogy a kamera mit lát. Az eltérő szögek más-más tulajdonságokat emelnek ki vagy fednek el.

- **Karcok láthatóvá tétele:**
Ha karcokat szeretnének felismerni, az oldalsó megvilágítás a legjobb. A karc visszaveri a fényt a kamera felé, így világos vonalként jelenik meg.
- **Karcok elrejtése:**
Ha viszont a karcokat el szeretnének tüntetni, a tárgyat több irányból – például felülről ring lighttal – érdemes megvilágítani. Így nem keletkeznek árnyékok, és más jellemzők (pl. szín, nyomat) jobban láthatók maradnak.

Színes fény és hullámhossz a gépi látásban

A gépi látásban nemcsak a fény erősségét, hanem más tulajdonságait – például a **hullámhosszát** – is felhasználhatjuk.

A különböző anyagok másképp reagálnak a különböző hullámhosszú fényre: eltérően verik vissza, nyelik el, törik meg vagy vezetik tovább.

A gépi látásban leginkább a **fény visszaverődése és elnyelődése** érdekes.

Színek szerepe a minőség-ellenőrzésben

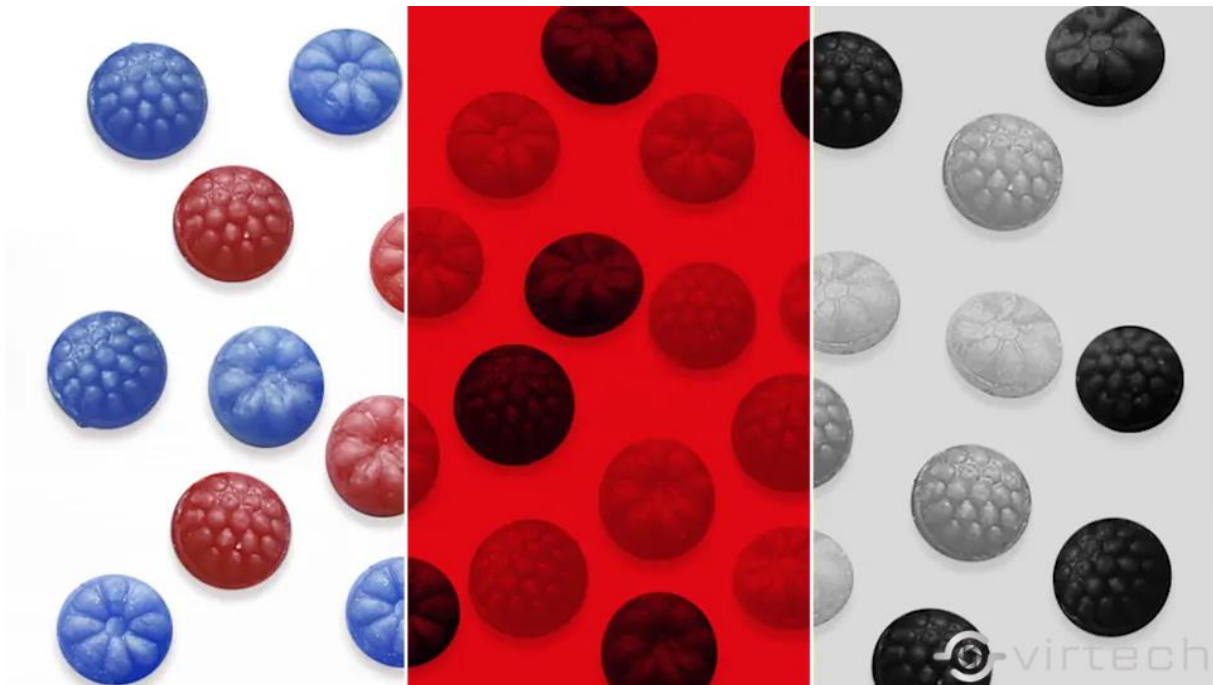
Hogy egy tárgy visszaveri, megtöri vagy elnyeli a fényt, az anyagának fizikai tulajdonságaitól függ.

A tükör visszaveri, a víz és a levegő megtöri, míg az elnyelő anyagok (például sötét felületek nyáron) hővé alakítják a fényt.

Egy tárgy azt a színt veri vissza, ami a saját színe – a piros tárgy a piros fényt, a kék pedig elnyeli.

Ezt a jelenséget **minőségbiztosításban is ki lehet használni**: monokróm kamera és vörös fény esetén a piros objektum világos, a kék sötét lesz.

A monokróm fényforrások ráadásul **élesebb képet** adnak, mivel kizárják az optika kromatikus hibáit.



*Egy **monokróm kamera és vörös fény** esetén a piros tárgyak világosnak, a kék pedig sötétnek látszanak. Így a piros és kék cukorkák jól megkülönböztethetők még fekete-fehér kamerával is*

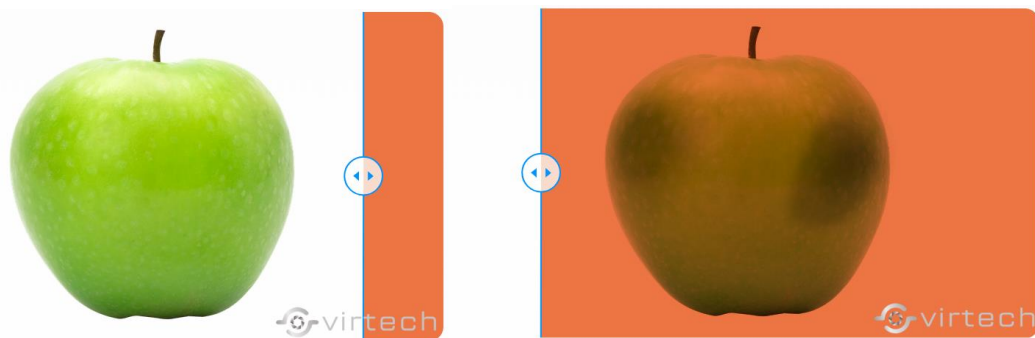
Láthatatlan hullámhosszak

Az emberi szem számára a 400–700 nanométeres tartományban látható a fény – ez adja a különböző színeket.

A **látható tartományon túli fények** viszont olyan részleteket is felfedhetnek, amelyeket szabad szemmel nem érzékelünk.

Például az **infravörös (IR) fény** segítségével jól kimutathatók a nyomásnyomok a gyümölcsök felületén.

Ehhez **SWIR kamerákat és speciális SWIR megvilágítást** alkalmaznak.



A megvilágítás összehangolása

A megvilágítás csak egy része a gépi látórendszernek, mégis **meghatározó a képminőség szempontjából** – a többi komponens nem tudja ellensúlyozni a rossz fényforrás minőségét. Ezért a rendszer tervezésekor külön figyelmet kell fordítani a megfelelő megvilágítás kiválasztására.

Hogyan válasszunk megfelelő megvilágítást?

Először határozzuk meg, **milyen tulajdonságokat szeretnénk láthatóvá tenni.**

Fontos szempontok:

- az anyag típusa,
- hogy a tárgy visszaveri vagy elnyeli a fényt,
- a szerkezet, geometria és szín,
- a tárgy mozgása,
- a környezeti fényviszonyok,
- valamint a kamera és a tárgy közötti távolság.

Ezek alapján pontosan meghatározható, milyen megvilágítás szükséges.

További segítséget nyújthat az [Illumination Selector](#) eszköz, amely lépésről lépésre segít a legmegfelelőbb világítás kiválasztásában.

Bright Field és Dark Field világítás a gépi látásban

A gépi látásban a **mező** (field) a tárgy háttérszerű, sík felületeire utal. A *világos mezős* (Bright Field) világításnál ez a háttér világos, mivel a fény a mintára szinte merőlegesen érkezik és visszaverődik a kamerába. Ezzel szemben a *sötét mezős* (Dark Field) világításnál a fény oldalról érkezik, így a sima felületekre jutó fény a kamera látóteréből kikerül: a háttér sötét marad és csak a felületi kiemelkedésekből (élek, karcok stb.) visszavert vagy szórt fény látszik a képen.

Bright Field (*világos mezős*) világítás

Bright Field világításnál a fényforrásokat általában nagy, 45–90°-os szögekben helyezik el a tárgy felületéhez képest. Így a sík felületekről visszavert fény jut a kamerába, ami világos háttérrel eredményez. Ennek következtében a kép háttere világos lesz, de a finom felületi hibák (karcok, horpadások) kevésbé láthatók, mivel ezek a területek a fényt szétszlatva a képalkotó szenzor által nem érzékelhető irányba terelik. Nagyon sima, fényes felületeken a közvetlen visszaverődés erős, fehér fényfoltokat okozhat, ami ronthatja a kép kontrasztját.

Összefoglalva: a Bright Field megvilágítás széles, egyenletes megvilágítást biztosít, de a sima felületet takaró hibák kiemelésekor hatékonysága korlátozott.

Dark Field (*sötét mezős*) világítás

Sötét mezős világítás esetén alacsony beesési szögű fényforrásokat (többnyire 10–15°-os szöggel) alkalmaznak. Ebben az elrendezésben a sima területekről származó fény elkerüli a kamerát, így a háttér sötét marad és csak a felület kiemelkedéseiről szórt fény jut az objektívbe. Ennek köszönhetően a képben az élek, karcok és egyéb felületi egyenetlenségek fényes pontokként jelennek meg, erős kontrasztban a sötét háttérrel. A sötét mezős világítás kifejezetten az élek és metszetek kiemelésére ideális (például karcok vagy metszett minták vizsgálatára). Mivel a fény csak a tárgy széleiről szóródik be a kamerába, a sima, fényes felületek nem vetítik vissza a fényt a kamera irányába, így a magas fényvisszaverődés sem zavarja a képalkotást. A Dark Field technikát gyakran használják csillogó fémfelületek, befeccskendezések vagy gravírozások ellenőrzésére, illetve olyan esetekben, amikor az élek és apró hibák kiemelése szükséges.

Kulcskülönbségek

- **Bright Field (*világos mezős*) világítás:** a fényforrásokat magas, 45–90°-os szögekben helyezik el a mintához képest, így a sima felületekről visszaverődő fény bejut a kamerába. Ez világos háttérrel eredményez, de a finom hibák és karcok láthatósága csökken, mert ezek a részek a fényt szétszórják, így árnyékos, sötétebb foltokként jelennek meg a képen.
- **Dark Field (*sötét mezős*) világítás:** alacsony beesési szögű (kb. 10–15°) megvilágítást alkalmaz, és csak a szórt fényt engedi a kamera érzékelőjébe. Így a sík területekről

érkező fény nem jut be a kamerába, a háttér sötét marad, és a felület kiemelkedéseiről (élek, karcok) származó szórt fény fényes kontrasztos mintákat alkot a képen.

A **Bright Field világítás** egyszerű, egységes megvilágítást ad, viszont a megvilágított felületek finom részleteit kevésbé emeli ki; a **Dark Field világítás** ezzel szemben az élek és egyenetlenségek kiemelésében erős, különösen tükröző vagy fényes anyagok esetén, amikor a sima felület a háttérrel összeolvad és nem zavarja a képet.

Basler SLP funkció

Egyszerű és hatékony megvilágításvezérlés

A **Basler SLP funkció** leegyszerűsíti a megvilágítás vezérlését, mivel a kamera közvetlenül képes irányítani a fényforrást.

Ez a megoldás zökkenőmentes kommunikációt biztosít a **Basler SLP Controller** és a **Basler boost R, ace 2, ace U és ace L** kamerák között.

Hogyan működik az SLP funkció?

Az SLP funkció egy „**adó-vevő**” **protokollon** alapul, amely meghatározza, hogyan küld parancsot a Basler kamera az SLP Controller felé.

Ennek köszönhetően a megvilágítási beállítások könnyen módosíthatók és optimalizálhatók az adott alkalmazás képalkotási igényeinek megfelelően.

A **pylon szoftvercsomaggal** ([pylon Software Suite](#)) egyszerűen definiálhatók mind a kamera-, mind a megvilágítási paraméterek.

Az SLP funkcióval rendelkező Basler kamera közvetlenül képes parancsot küldeni az SLP Controllernek – és így a fényforrásnak –, ami **rendkívül pontos időzítést** tesz lehetővé a felvételt készítés során.



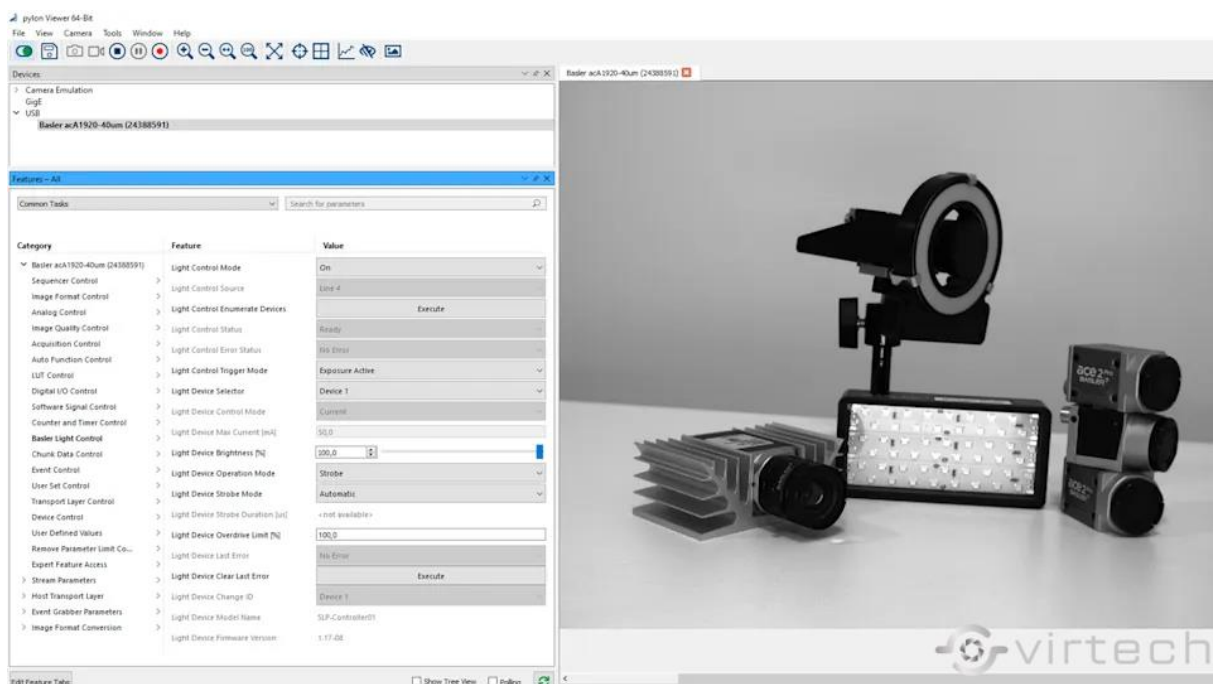
Különböző megvilágítási módok

Az SLP funkció többféle fényüzemmódot támogat, például:

- **folyamatos megvilágítás (continuous light)**
- **villanófényes mód (strobing)**
- **túlvezérléses mód (overdrive)**

A **pylon Software Suite** segítségével ezek közül bármelyik üzemmód egyetlen kattintással kiválasztható.

A kiválasztott parancsot a kamera az SLP funkción keresztül **közvetlenül továbbítja az SLP Strobe Controllernek**, amely a fényt pontosan a kép készítésének pillanatában kapcsolja be.



Az SLP funkció előnyei

- Egyszerű, **közvetlen megvilágításvezérlés a kameráról**
- **Zökkenőmentes működés** a pylon szoftveren keresztül
- **Egyetlen kattintással** elérhető strobe- és overdrive-módok
- **Plug & Play** telepítés, gyors mechanikai integráció

A Clipping jelensége a gépi látásban

Bevezetés

A gépi látás rendszerek célja a vizuális információk automatikus értelmezése, amelyhez a kamerák által rögzített képek szolgáltatják az alapadatot. A képi információ minősége döntően befolyásolja az algoritmusok teljesítményét: a kontraszt, a megvilágítás és a dinamikataromány mind hozzájárulnak a látórendszer megbízhatóságához. A világítási körülményekből adódó egyik legfontosabb torzítási jelenség a „clipping”, amely során a kamera érzékelője túlvilágított vagy túl sötét régiókban elveszíti a részletgazdag információt.

A clipping fizikai és matematikai értelmezése

A képi érzékelők (leggyakrabban CMOS vagy CCD alapú szenzorok) csak egy korlátozott intenzitástartományban képesek mérni a beérkező fényt. Amikor a beérkező fény intenzitása meghaladja a szenzor maximális kapacitását, az adott pixel értéke eléri a maximális numerikus határt (például 255 egy 8 bites képnél), és nem tud tovább növekedni. Ezt a jelenséget nevezzük fehér (white) clippingnek. Hasonló módon, ha a beérkező fény túl gyenge, a pixel értéke nullára esik, amelyet fekete (black) clippingnek nevezünk.

Matematikailag a clipping művelet egy értékhatár-korlátozásként írható le:

- $I(x, y) = \min(\max(S(x, y), 0), I_{\max})$

ahol $S(x, y)$ a szenzor által mért eredeti intenzitás, míg $I(x, y)$ a klippelt érték. A képlet biztosítja, hogy az intenzitás a $[0, I_{\max}]$ intervallumon belül maradjon.

A clipping hatása a gépi látásra

A clipping közvetlen hatással van a képfeldolgozási és gépi látási algoritmusok teljesítményére. A white clipping során a világos területeken elvesznek a textúrák és élek, míg black clipping esetén az árnyékos régiók információtartalma vész el. Az így keletkező információhiány komoly problémát jelenthet például tárgyfelismerésnél, mélységbecslésnél vagy arcaazonosításnál.

A gépi látási rendszerek általában feltételezik, hogy a képi intenzitások a jelenet fizikai tulajdonságait tükrözik. Ha a kép egy része telített, az algoritmus tévesen értelmezheti az adott területet, ami hibás döntésekhez vezethet például autonóm járművek vagy ipari vizuális ellenőrző rendszerek esetében.

Clipping megelőzése és kezelése

A clipping minimalizálására több megközelítés is létezik. Az egyik legelterjedtebb módszer az automatikus expozíció-szabályozás (auto exposure), amely a kép dinamikartományát a szenzor érzékenységéhez igazítja. Emellett alkalmazható a HDR (High Dynamic Range) képképzés, amely több különböző expozíciós idejű felvételt egyesíti a részleteket. A szoftveres feldolgozás során gyakran használnak tone mapping és gamma korrekciós technikákat, amelyek a fényes és sötét régiók részleteit visszaállítják.

Egy másik megközelítés az aktív megvilágítás alkalmazása, ahol a rendszer szabályozott fényforrásokat használ, így csökkentve a túlvilágítás és árnyékhatás miatti clipping előfordulását. A képfeldolgozási pipeline szintjén a clipped pixelek detektálása is lehetséges, például hisztogram-elemzéssel vagy telített régiók maszkjának létrehozásával.

Összegzés

A clipping jelensége alapvető korlátot jelent a gépi látás rendszerek számára, mivel a szenzor telítődése visszafordíthatatlan információvesztést okoz. A probléma kezelése integrált megközelítést igényel, amelyben a kamerahardver, az expozícióvezérlés és az utófeldolgozási algoritmusok egyaránt szerepet kapnak. A jövőbeli fejlesztések a nagyobb dinamikartományú érzékelők, valamint az adaptív megvilágítási technikák irányába mutatnak, amelyek lehetővé teszik a látórendszerek számára a természetes világítási környezethez való rugalmas alkalmazkodást.