

Féléves feladat

Számítógépes képfeldolgozás

A gólvonal döntéstámogató technológia

implementálása két-dimenziós játéktérben

Készítette

Sári Zoltán

Óbudai Egyetem

Neumann János Informatikai Kar

2014/2015. I. félév

1. Bevezetés

A labdarúgás történetében számtalan olyan eset történt, amikor egy nyilvánvaló gólt nem ítelt meg a játékvezető. A többkamerás közvetítési technológia és a lelátókról követhető óriáskivetítők elhelyezése a bíró pillanatnyi döntésének helytelenségét azonnal kritika tárgyává teszik.

A gólvonal-technológia egy döntéstámogató segédeszköz a gól kritikus helyzetben történő megállapításához. A technológia egyik bevált módszere a krikettből, majd a teniszből ismert Súlyomszem (Hawk-Eye) eljárás. Az eljárást a FIFA - hosszas ellenállása után - sikerrel vezette be és alkalmazta a 2014-es labdarúgó világbajnokságon.

A Súlyomszem labdarúgásra tervezett változata azt hivatott eldönteni, hogy a labda teljes terjedelmével áthaladt-e a gólvonalon. A több kamera felvételeit feldolgozó számítógép milliméterre pontosan kiszámolja, hol landolt a labda, és döntési javaslatot tesz a bíró számára: ha a labda túljut a gólvonalon, a rendszer rögtön jelez a játékvezetőnek. A rendszer nem tévedhetetlen, azonban 5 milliméter pontosságú, megbízható és elfogulatlan döntési javaslatot ad.

2. A működés elv

A Súlyomszem egy komplex számítástechnikai rendszer, amely vizuálisan nyomon követni a labda mozgásának pályáját, és meghatározza a statisztikailag legvalószínűbb továbbhaladási útvonalat.

A stadionon belül 6-7 db, különböző helyen és szögben elhelyezett nagy teljesítményű videokamera követi az eseményeket. A feldolgozó egység a kamerák által rögzített képi információk háromszögelése és kombinálása révén állítja elő a labda útjának háromdimenziós reprezentációját. A rendszer adattára tartalmazza a játéktér előre meghatározott modelljét és a játékszabályokat.

Minden kamera minden egyes képkockát (kb. 60 FPS) közvetít a központi feldolgozó egység részére, majd a rendszer azonosítja a pixelek azon csoportját, amely a labda képének felel meg. Ezt követően - legalább 2 különböző kamera által ugyanabban időpillanatban készített - képkocka összehasonlításával kiszámítja a labda 3D-s pozícióját. A labda útjának 3D modellben kalkulált sorozata alapján előrejelzi a labda röppályáját és elhelyezi a játéktér modellben. A rendszer a tárolt játékszabályok alapján értelmezi a röppályát és dönt a játékszabályok megsértéséről. A rendszer automatikusan jelez, amikor a labda áthalad a gólvonalon, az alapvonalon vagy az oldalvonalon.

Igény esetén a rendszer egy grafikus képet generál a labda útról és a játékterről, amely segítségével valós időben képes tájékoztatni a játékvezetőt, a nézőket vagy az edzői stábot.

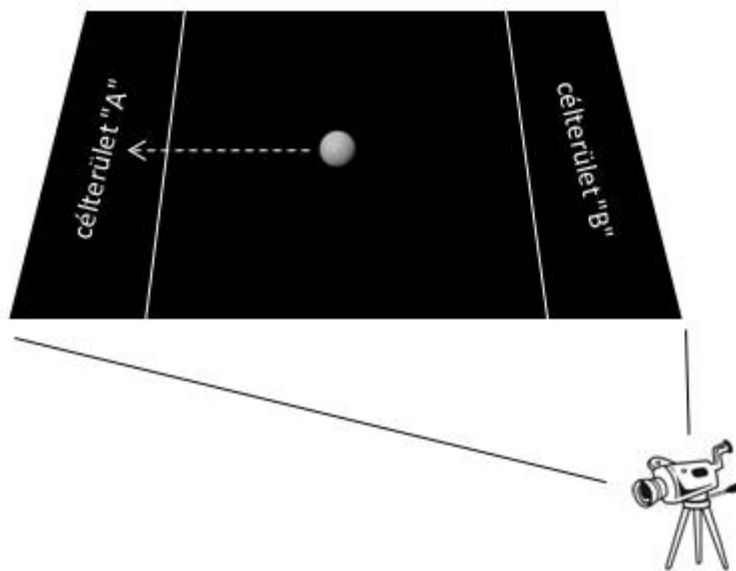
A nyomkövető rendszer háttér adatbázissal és adat archiválási képességgel párosul, amelyek lehetővé teszik a játék elemzését, az egyes játékosok statisztikáinak elérését.

3. Feladat

Féléves feladatom keretében kitűzött céloom a gólvonal technológia egyszerűsített leképezése volt egy kétdimenziós játéktérre.

Az egyszerűsített játékot 2 játékos játssza. A játéktér egy téglalap (asztal), amelyen két, szintén téglalap alakú célterület van elkülönítve. A játék további eleme a (ping-pong) labda. A játék szabálya kettős: a labda a téglalast 2 egymással szemközti oldalán nem hagyhatja el a játékteret, miközben cél a labda átgurítása az adott játékosal szemben lévő oldalon található célterületre. A játékot egy kamera rögzíti.

A játék és munkatér sematikus ábrája

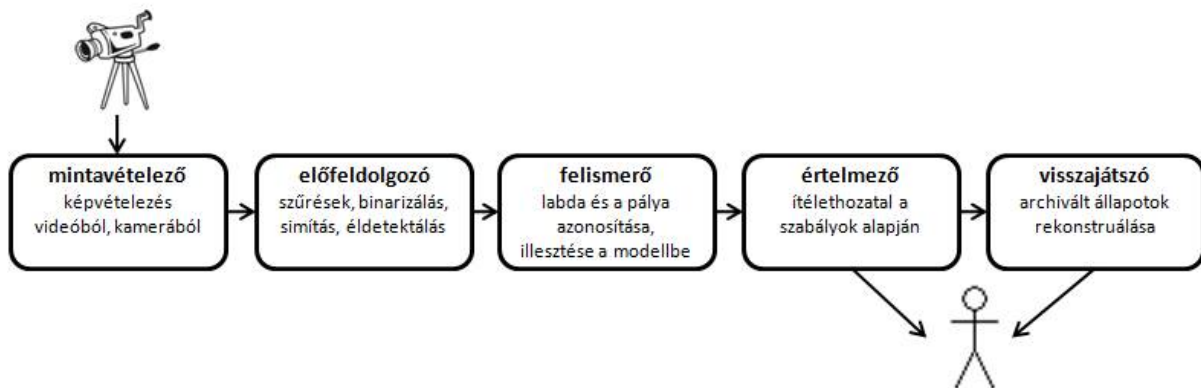


A feladat, hogy a rendszer jelezze a labda célterületre érkezését. A célterületre történő bejutás detektálása a kamera felvételeire épül.

4. A rendszer vázlatos felépítése

A rendszer működése alapvetően öt elkülöníthető funkcionalitásra épül. A rendszer moduljai a digitális kamera által rögzített kép és a rendszer visszajelzése (játéksituáció) közötti folyamatot képezik le.

Vázlatos rendszermodell



A **mintavételező alrendszer** (Capturer osztály) fogadja a kamera által a játékterről rögzített digitális képet. Emellett lehetőséget biztosít korábban rögzített felvételek beolvasására is.

Az **előfeldolgozó alrendszer** (PreProcessor osztály) feladata a beolvasott kép alkalmassá tétele a hasznos információk kinyerésére: a zavaró jelek szűrésével a játéktér vonala és a labda kiemelése a környezetből.

A **felismerő alrendszer** (Recognizer osztály) felelőssége a megfelelően előkészített, a játéktér és a labdát kiemelő képen az objektumok szegmentálásának elvégzése, a játéktér és a labda azonosítása, majd beillesztése a játék logikáját tartalmazó modellbe (labda, játéktér modell és szabálybázis).

Az **értelmező modul** (Interpreter osztály) a labda helyzete, a játéktér és a játékszabályok összevetése alapján interpretálja a képet és a labda relatív pozíciója alapján megítéli az egyes játéksituációk bekövetkezését (labda célterületre érkezése).

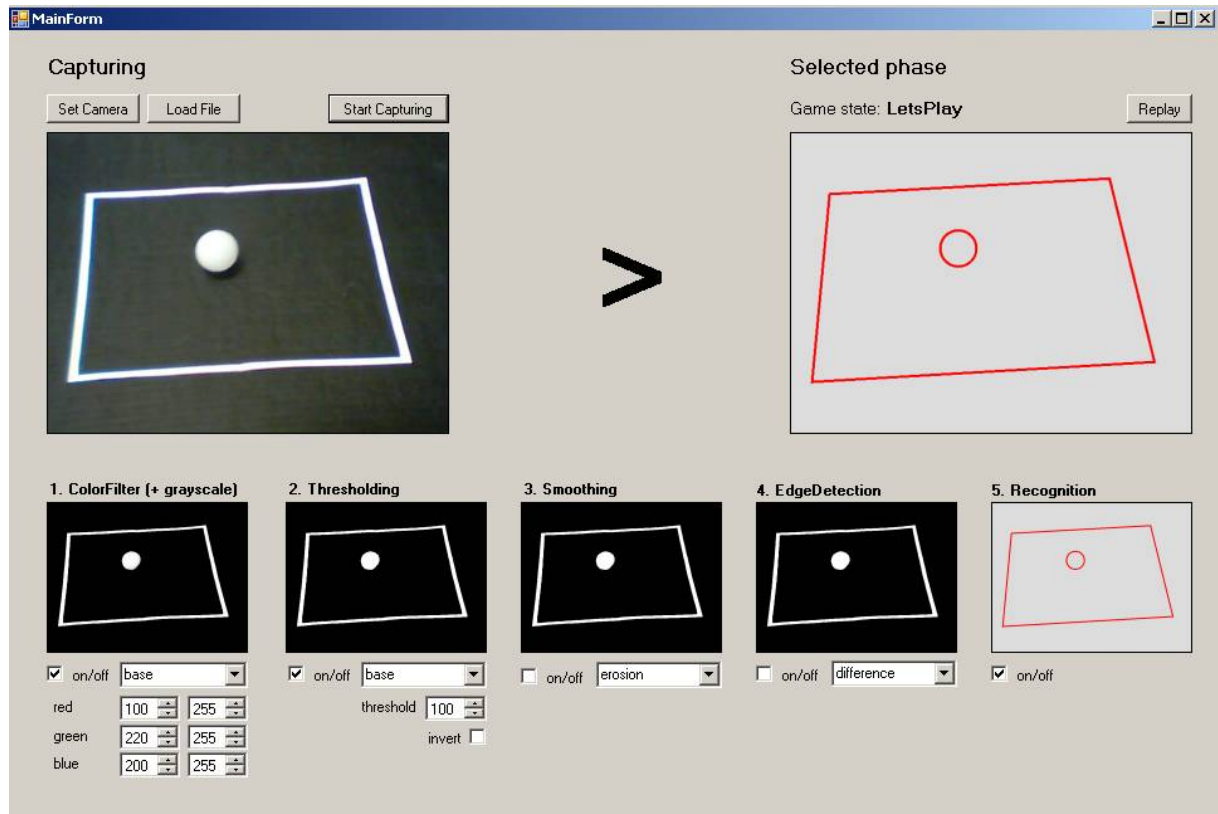
A **visszajátszó alrendszer** (Replayer osztály) a labda mozgásának követése és restaurálása érdekében rögzített játékállapotokat jelenti meg.

A rendszer funkcióinak rugalmas testre szabását és a feldolgozás egyes szakaszairól történő visszacsatolást komplex grafikus felület támogatja. A grafikus vezérlőkkel való szoros együttműködés miatt a feldolgozás logikája a grafikus felület alapkomponeensébe (MainForm osztály) ágyazott osztályokba csomagolt. A csomagolóosztályok mellett a logika elemei teljesen elkülönülnek a felülettől, így az újrafelhasználhatóság egy eltérő felhasználói interfész esetén is biztosított.

5. Grafikus felhasználói felület

A grafikus felhasználói felület kialakítása a feldolgozási folyamatot követi.

A grafikus felhasználói felület



A képernyő bal felső negyede a mintavételezés vezérlését támogatja: megadható a képvételezés forrása (kamera/video), elindítható a mintavételezés és megtekinthető a képminta.

A képernyő jobb felső negyede a feldolgozás eredményét mutatja be, de igény esetén az egyes feldolgozási lépések részeredményei is megjeleníthetők. Itt kerül kijelzésre a rendszer által a játékhelyzetről hozott ítélet és indítható el a visszajátszás.

A folyamat testre szabását és a részeredményekről való grafikus visszacsatolást a képernyő alsó fele biztosítja. Az előfeldolgozás és a felismerés lépései workflow jellegű elrendezésben helyezkednek el. A kapcsolódó vezérlőkkel az egyes lépések ki-be kapcsolhatók, az adott lépésben alkalmazott eljárások kiválaszthatók illetve paramétereizhetők. Az egyes szakaszok részeredményét bemutató miniatűrökre kattintva a visszacsatolt kép kinagyítható.

6. Képfeldolgozási logika implementálása

A képfeldolgozási logika megvalósítása során az *AForge.NET* keretrendszer által biztosított eljárásokra támaszkodtam. Az implementáció során áttekintettem a keretrendszer által biztosított, releváns képfeldolgozó eljárásokat és az alkalmasnak ítélt algoritmusokra támaszkodva valósítottam meg a feladatot.

6.1. Előfeldolgozás

Az előfeldolgozás célja a vételezett képről a labda és a pálya körvonalától eltérő zavaró jelek eltávolítása.

Tekintettel arra, hogy a mind a pálya, mind a labda fehér színű, egy sötét, homogén háttér esetén az elkülönítés egyszerű küszöböléssel is elvégezhető. A korrekciós képesség hatékonysága azonban tovább növelhető a színszűrés alapú izoláció alkalmazásával. A színszűréssel a kevésbé markánsan elkülönülő és kevésbé homogén háttér is kiszűrhető.

A **binarizálás** folyamatához kapcsolódóan az *AForge.Net* által biztosított eljárások közül a megvalósított rendszerben a *ColorFiltering*, *ChannelFiltering*, *HSLFiltering* színszűrők és a *Threshold*, *BradleyLocalThresholding*, *SISThreshold*, *OtsuThreshold*, *IterativeThreshold*, érhetőek el (választhatók ki). Ezek közül a színszűrők és az alap küszöbölő paraméterezzhető közvetlenül.

Az alap *Threshold* eljárás előnyt élvezett a megvalósítás során, mert a fejlettebb küszöbölő algoritmusok számításigénye lényegesen magasabb (Bradley, Iterative: lokális jellemzők, SIS: gradiensek, Otsu: varianciák kiszámításának többletigénye), és a tesztkörnyezetben a magas intenzitású (fehér) objektumok az egyszerű, de gyors alapeljárással is jól kiemelhetők voltak.

A színszűrés és/vagy küszöbölése után esetlegesen megmaradt, izolált zavaró képpontok a **simítás** során kezelhetők. A futás során a simításra alkalmas eljárások széles köre elérhető: *Erosion*, *Mean*, *Median*, *Blur*, *GaussianBlur*, *ConservativeSmoothing*, *Opening* (erózió + dilatació).

A tesztelés során a hatékony binarizálás után kevés esetben volt szükség simításra. Az esetlegesen fennmaradt zavaró képpontokat az *Erosion* eljárás képes volt kezelni.

Az előfeldolgozás befejező lépése az **élkeresés** ¹. Az elérhető eljárások: *DifferenceEdgeDetector*, *CannyEdgeDetector*, *SobelEdgeDetector*, *HomogeneityEdgeDetector*, *Edges* osztályok.

A éldetektáló eljárások azonban már nem javítottak az objektumok felismerésének hatékonyságán, így ezek alkalmazása a feladat megvalósítás során nem indokolt.

Az előfeldolgozást érintően általánosságban elmondható, hogy a háttértől jól elkülönülő felismerendő objektumok magas intenzitása és viszonylag szabályos alakja miatt az alacsony

¹ A sarokpontok keresése és felhasználása már a felismerő alrendszer feladata.

számításigényű eljárások is hatékonyak bizonyultak. Az alacsony számításigény pedig kulcsfontosságú a valós idejű feldolgozás biztosítása érdekében.

6.2. Felismerés

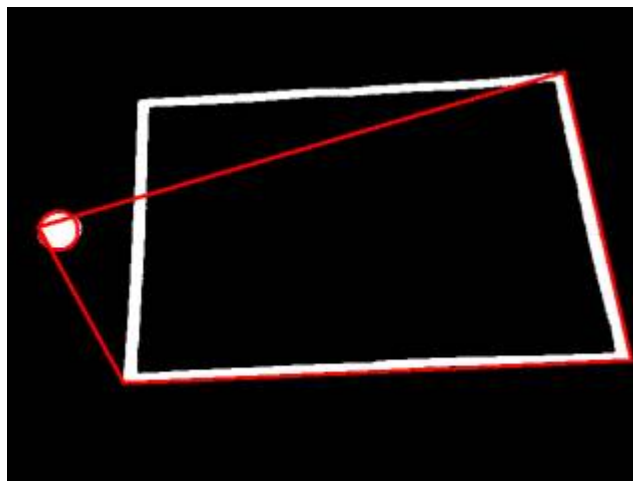
A megfelelően előkészített kép fekete háttér mellett a labdát jelző fehér körlapot (éldetektálás esetén kört) és a pálya vonalát jelző fehér négyszöget tartalmazza. Az objektumok detektálása ennek megfelelően egy kör és egy négyszög felismeréséből áll.

A **négyszög detektálás** érdekében az *AForge.NET* keretrendszer közvetlenül használható eljárást kínál a *QuadrilateralFinder* osztály megfelelő metódusára támaszkodva.

Az eljárás először összegyűjti a paraméterként kapott képen szereplő objektum élpontjait, majd ponthalmaz felhasználásával megkeresi a legjobban illeszkedő négyszög sarokpontjait.

Az eljárás tulajdonsága, hogy a kép minden fekete pixelét háttérként, minden egyéb intenzitású pixelt pedig a négyszög részeként értelmez. Az implementáció során problémát jelentett a labda pályán kívüli pozíciója. Az eljárás a labda alakját is a négyszög részeként értelmezte, ami az alábbi hibára vezetett.

A pálya felismerés nehézsége



A megoldást a labda objektumát reprezentáló képrész törlése (feketére festése) jelentette, amely eljárással már egyértelműen azonosíthatóvá vált a pálya kerülete. A hiba kezelése a pálya felismerést megelőző labdadetektálást feltételez.

A **kördetektálás**hoz a keretrendszer nem biztosít a négyszögkereséshez hasonló, közvetlenül meghívható eljárást. A labda felismeréshez a *ShapeChecker* osztály nyújt segítséget.

Az osztály potenciális objektumot tartalmazó képrészlet (*Blob*) élpontjait fogadja bemenetként. Majd a fogadott élpontokat egy körre illeszti. Ha a paraméterként kapott élpontok egy előre meghatározott torzítási toleranciaszint mellett megfelelnek a körnek, akkor a metódus visszaadja az objektumot reprezentáló kör középpontját és sugarát.

Megjegyezendő, hogy az osztálynak létezik eljárása a négyszög felismerésre is, amely alternatív megoldást kínál a pálya vonalának detektálására.

A képfeldolgozási logika által kinyert jellemzők alapján valósul meg az értelmezés, a játékszituáció megítélése. A gól megállapításához az értelmező alrendszer a pálya vonalának és a labda középpontjának relatív pozícióját hasonlítja össze, figyelembe véve a labda sugarát is. Ha a labda teljes terjedelmével áthaladt az alapvonalon (a pálya bal és jobb oldali éle), a rendszer gólt jelez.

Megjegyzendő: a labda és a pálya körvonalának egybeesése esetén előfordul, hogy a rendszer nem ismeri fel a labda objektumát, azonban ez a megfogalmazott célt: a rendszer ismerje fel a gólt, azaz alapvonalon való áthaladást, nem sérti.