

# OBJECT TRACKING USING KALMAN FILTER

**Martin Sehnoutka**

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xsehno00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Miloslav Richter

E-mail: richter@feec.vutbr.cz

**Abstract:** The goal of this paper is to describe design and implementation of system which is supposed to track objects in video sequence. Kalman filter is used for modeling object movement and prediction of its trajectory in moments when the object is hidden. System can use two different models. One is supposed to track objects that are moving with constant velocity and second one with constant acceleration.

**Keywords:** Machine vision, Kalman filter, Object tracking

## 1 ÚVOD

Sledování pohybu objektů ve videu je velmi obecná úloha. Tato práce se proto zabývá pouze možnostmi, kdy je záznam pořízen ze statické kamery a pohyb jednotlivých objektů je malý vůči jejich velikosti. Samotné sledování pohybu se skládá z několika kroků. Prvním je předzpracování obrazu, které slouží především pro potlačení šumu. Segmentace využívá algoritmu Mixture of Gaussians a matematické morfologie pro úpravu segmentovaného obrazu. Na takto připraveném snímku se detekují objekty a jsou sledovány pomocí modelu a algoritmu Kalmanova filtru.

## 2 TESTOVACÍ ZÁZNAMY

Pro testování bylo pořízeno několik záznamů, na nichž se pohybují lidé nebo automobily. Přestože se ve všech případech objekty pohybovaly konstantní rychlostí, díky úhlu pořizování záznamu se objekty jeví jako by měly konstantní zrychlení.

## 3 PŘEDZPRACOVÁNÍ A SEGMENTACE OBRAZU

Předzpracování jednotlivých snímků spočívá v odstranění šumu pomocí Gaussova filtru. Poté již přichází na řadu samotná segmentace popředí. Ta využívá již zmíněného algoritmu Mixture of Gaussians (MOG), který vytváří pro každý pixel videa model pomocí několika Gaussových rozdělání. Po segmentaci obrazu následuje úprava binárního obrazu pomocí matematické morfologie. Použité operace a strukturní elementy je vhodné volit podle charakteru scény na videu, například v závislosti na velikosti objektů. Ukázka segmentace je na obrázku 1.

## 4 POUŽITÍ KALMANOVA FILTRU

Po segmentaci obrazu přichází na řadu rozdělání jednotlivých segmentů do objektů. Tento proces je implementován pomocí vyhledávání kontur v obraze, při kterém se berou v úvahu pouze kontury vnější. Není možné, aby byl objekt uvnitř jiného objektu. Tyto kontury jsou následně ohraničeny obdélníkem, jehož střed se bere jako poloha objektu. Tento střed slouží pro inicializaci polohy objektu ve filtru a zároveň pro jeho trasování. Každý pohybující se objekt je v programu realizován jako instance třídy, která obsahuje Kalmanův filtr, jeho geometrické rozměry a trasu.



**Obrázek 1:** Původní záznam (vlevo), segmentace pozadí (uprostřed), aplikace matematické morfologie (vpravo)

#### 4.1 NÁVRH MODELU

Základem filtru je model systému, který je popsán vektorem  $\mathbf{x}$ , a model nepřesných měřených hodnot  $\mathbf{z}$ . Dále v modelu vystupují vektory šumu  $\mathbf{w}$ ,  $\mathbf{v}$ , matice přenosu stavů  $\mathbf{A}$  a matice pozorování  $\mathbf{H}$ . [1]

Formálně tedy máme model systému:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \quad (1)$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (2)$$

První a jednodušší model popisuje pohyb konstantní rychlosti ve dvourozměrném prostoru, kde poloha je označena  $\mathbf{s} = (x, y)^T$  a rychlost  $\mathbf{v} = (v_x, v_y)^T$ . Model je tedy odvozen z tohoto integrálu:

$$\mathbf{s} = \int \mathbf{v} dt \Big|_{\mathbf{v}=\text{konst.}} = \mathbf{v}t + \mathbf{s}_0 \quad (3)$$

Druhý model popisuje objekt s konstantním zrychlením nebo zpomalením  $\mathbf{a} = (a_x, a_y)^T$ . Odvození modelu je obdobné:

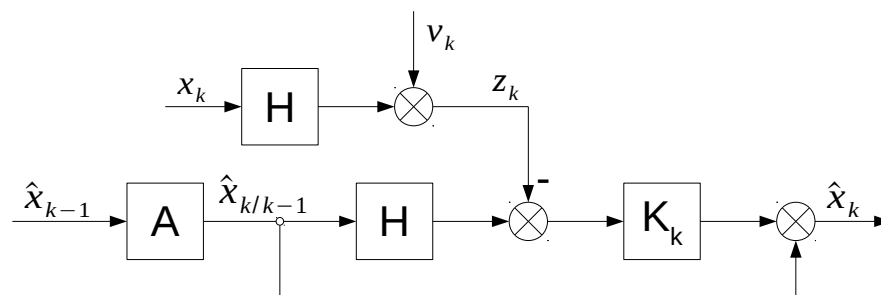
$$\mathbf{s} = \int \left( \int \mathbf{a} dt \right) dt \Big|_{\mathbf{a}=\text{konst.}} = \int (\mathbf{a}t + \mathbf{v}_0) dt = \mathbf{a} \frac{t^2}{2} + \mathbf{v}_0 t + \mathbf{s}_0 \quad (4)$$

Po diskretizaci vznikne model definovaný maticemi  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{A}$  a  $\mathbf{H}$ . Přenos mezi jednotlivými veličinami je určen proměnnou  $T$ , která má rozměr času a v implementaci byla určena experimentálně v řádu jednotek. Zde je ukázka modelu pro objekty s konstantní rychlostí. Model pro objekty s konstantním zrychlením by vznikl pouhým rozšířením o hodnotu zrychlení a její přenos na rychlost a polohu.

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ v_x \\ v_y \end{pmatrix}, \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

#### 4.2 POPIS ČINNOSTI FILTRU

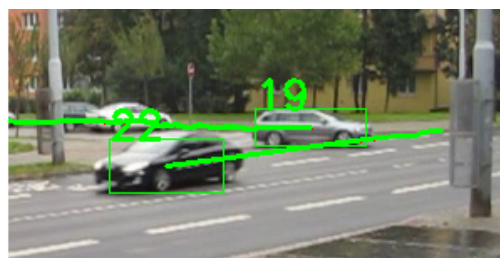
Činnost Kalmanova filtru spočívá v opakovaném výpočtu sady maticových rovnic, jehož cílem je vypočítat zesílení. Kalmanovo zesílení je funkcí statistiky šumu a parametrů modelu [2]. Inicializační hodnoty modelu jsou první poloha, na které se objekt objeví. Zrychlení i rychlost jsou na začátku nulové. Na vstupu každé iterace je korigovaná hodnota odhadu z minulé iterace  $\hat{x}_{k-1}$ , která se přes matici přenosu přepočítá na předběžný odhad nové hodnoty  $\hat{x}_{k/k-1}$ , a hodnota měření, která se skládá z reálné polohy  $x_k$  zatížené náhodným šumem  $v_k$ . Korigovaný odhad je určen jako součet odhadu a rozdílu odhadu a měření, který je vynásoben Kalmanovým zesílením  $\mathbf{K}_k$ .



**Obrázek 2:** Blokové schéma výpočtu korigovaného odhadu polohy

## 5 ALGORITMUS SJEDNOCENÍ OBJEKTŮ

Tato část programu je klíčová, neboť se jedná o nalezení trasy objektu mezi dvěma snímky. Jak již bylo zmíněno výše, základem je predikce pomocí Kalmanova filtru, nicméně mohou nastat různé druhy "chybových" stavů. To znamená například překrytí objektu pevnou překážkou (lampa, sloup) nebo se dva objekty překryjí navzájem, potom se v segmentovaném obrazu jeví jako jeden veliký objekt a nelze mezi nimi přesně určit hranice. Za takovýchto okolností je opakovaně předpovídán stav, ale není korigován, což může způsobit, že se model po znovu oddělení objektů nebude shodovat se skutečnou polohou objektu a tudíž nepozná, že k němu patří.



**Obrázek 3:** Trasování přes překážku (vlevo) a při vzájemném křížení (vpravo)

## 6 ZÁVĚR

Výsledkem této práce je program, který dokáže trasovat objekty ve videozáznamu. Jak bylo ukázáno, je schopen si poradit i s některými výjimečnými stavy, které mohou nastat, nicméně není univerzální a existuje i množství stavů, se kterými si neporadí. Nevýhodou je závislost na dobré segmentaci, která není tak snadná, pokud se ve videu objevují výrazné stíny, odlesky nebo jiné rušivé prvky.

## REFERENCE

- [1] ŠONKA, Milan, Václav HLAVÁČ a Roger BOYLE. *Image processing, analysis, and machine vision*. 3rd ed. Toronto: Thomson, 2008, xxv, 829 s. ISBN 978-0-495-08252-1.
- [2] Smoothing, Filtering and Prediction - Estimating The Past, Present and Future [online]. 2012 [cit. 2015-03-18]. ISBN 978-953-307-752-9. Dostupné z: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)