

MODELOVANIE A SIMULÁCIA NAVÁDZANIA RIADENÝCH ZBRANÍ

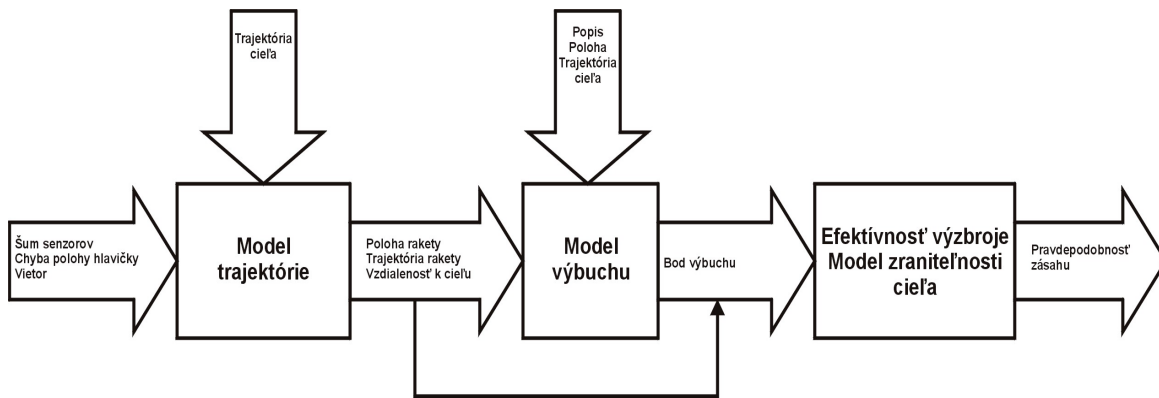
Róbert BRÉDA

Abstrakt

Moderné riadené letecké rakety sú v súčasnosti jedným zo základných prostriedkov výzbroje lietadiel, bojových vrtuľníkov a bezpilotných prostriedkov. Letecké riadené rakety sú vybavené navádzacím a riadiacim systémom, ktorý je schopný sám zistiť odchýlku od požadovanej trajektórie a transformovať ju na riadiacu silu, ktorá mení trajektóriu letu rakety, alebo spracováva informácie vysielané navádzacím stanovišťom, operátorom. Systém riadenia rakety, získava a vyhodnocuje informáciu o polohe ťažiska leteckej rakety, polohe rakety v priestore a vektore rýchlosti cieľa, formuje riadiaci signál a pomocou kormidiel alebo iných riadiacich systémov odstraňuje odchýlku od požadovanej trajektórie letu. Generácia dnes používaných taktických rakiet pracuje s optickým sledovacím systémom, pretože veľké množstvo informácií ktoré poskytuje obraz, je možné čo najefektívnejšie využiť pomocou inteligentného sledovacieho algoritmu. Algoritmus je využívaný pre vydelenie cieľa zo zašumeného obrazu a následne na sledovanie cieľa, ktorý bol detekovaný systémom. Praktické využitie optického navádzacieho systému s inteligentným sledovacím algoritmom je možné vďaka rozmerovo malému CCD snímaču na báze tuhých látok, ktorý je stabilizovaný v priestore povelmi z riadiacej jednotky a je smerovaný na cieľ. Televízny systém navádzania má síce obmedzený dosah, ale poskytuje obraz cieľa a miesta pôsobenia seče, kde televíznym koordinátorom vybavená raketa v spojení so systémom pre prenos dát umožňuje pri spomalenom prehrávaní záznamu vizualizáciu detailov ako sú napr. štátna poznávaciu značka, výrobné číslo alebo označenie bojového prostriedku na bojisku. Kombinácia obrazového systému sledovania a zachytenia cieľa s infračerveným alebo rádiolokačným systémom sa v súčasnej dobe javí ako jeden z najúčinnejších systémov detekcie a automatického sledovania cieľa zbraňovými systémami.

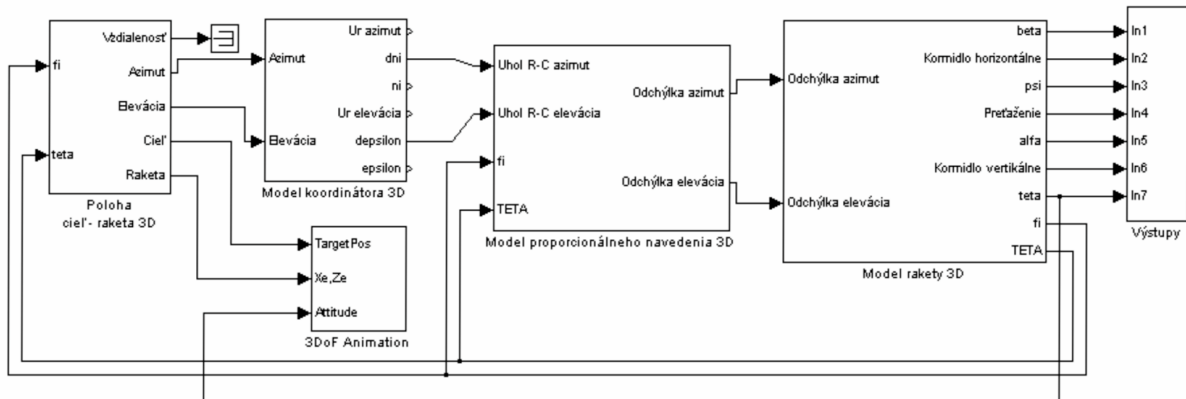
1 MODEL NAVEDENIA LETECKEJ RIADENEJ RAKETY

Pre simulovanie pohybu riadenej rakety bol vytvorený model navedenia leteckej rakety programom MATLAB[®] so svojim modulom SIMULINK[®]. Matematický model navedenia pozostáva z pohybových rovníc rakety a rovníc, ktoré popisujú činnosť riadiaceho systému od zistenia parametrov riadenia až po vychýlenie kormidiel. Ide o nelineárny náhodný proces, často nespojitý a vo svojej podstate viac parametrický. Princiálne je nemožné analyzovať všetky príčinné súvislosti, ku ktorým dochádza pri navedení LRR, ale obvykle poznáme základné zákonitosti vyplývajúce z metódy navedenia, zo zákona riadenia a existujúcich riadiacich síl. Úplný model navedenia rakety (Obr.1) musí obsahovať modely trajektórie, modely výbuchu, model efektívnosti výzbroje a zraniteľnosti cieľa. Ďalšími parametrami, ktoré vstupujú do tohto modelu sú trajektória rakety vypracovaná z modelu pohybu rakety, modely senzorov a šumové charakteristiky všetkých systémov.



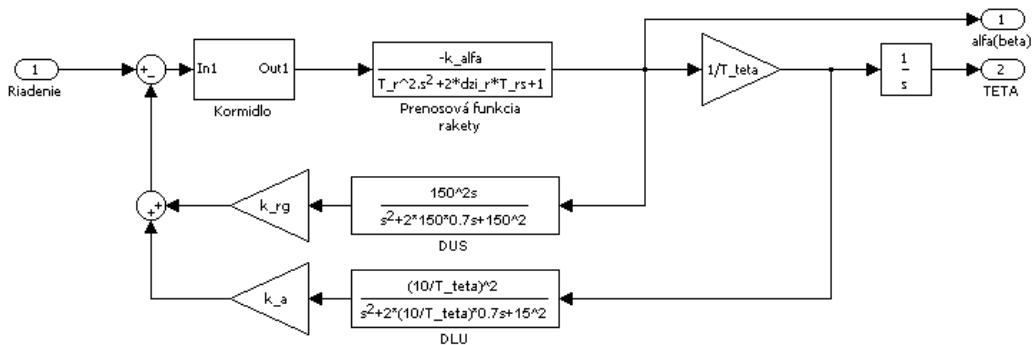
Obr. 1: Komplexný model navedenia LRR.

Vzhľadom na zložitosť pri tvorbe komplexného modelu rakety bol zvolený postup tvorby parciálnych modelov systémov. Takýto postup umožňuje analyzovať vlastnosti a chovanie subsystémov LRR, ktoré je možné využiť pri koncipovaní zjednodušeného úplného modelu navedenia leteckej riadenej rakety.



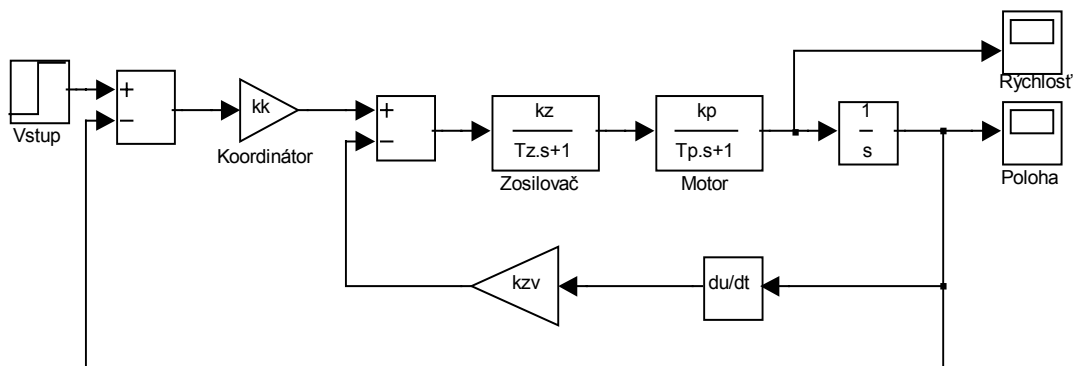
Obr. 2: Model navedenia LRR so stabilizáciou v prostredí SIMULINK®.

Model rakety umožňuje sledovanie trajektórie letu a parametrov leteckej riadenej rakety počas navedenia a zároveň je možné pozorovať stav subsystémov rakety počas doby navedenia. K modelu pridaný modul animácie pohybu leteckej riadenej rakety umožňuje názornejšie sledovanie pohybu leteckej riadenej rakety počas navedenia na cieľ. Pomocou takto koncipovaného modelu je možné simulovať funkciu LRR tak, ako by sa chovala v reálnom prostredí, to znamená, že do tohto modelu je zahrnutá aj zmena parametrov napr. zmenou výšky a pod. Model LRR prezentovaný na (Obr.3) je zjednodušenou variantou plného modelu. Pozostáva z linearizovaného modelu rakety ako objektu riadenia, ktorého parametre sú vypočítané skriptom v prostredí MATLAB®. Tento skript vypočítava parametre na základe zákonitostí uvedených v predchádzajúcej časti a sú vypočítané pre presne definované počiatočné podmienky (výška, rýchlosť, orientácia v priestore a pod.).



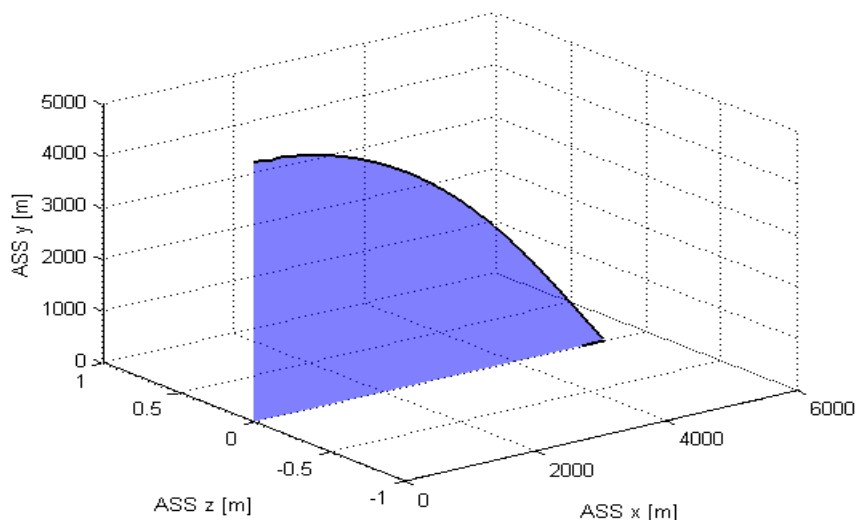
Obr. 3: Model LRR so stabilizáciou v prostredí SIMULINK®.

V skripte sú vypočítané spolu s parametrami rakety aj parametre pre modely prvkov stabilizácie, tak aby raketa ako celok bola stabilná. Do celého modelu LRR ďalej spadajú systémy navedenia (koordinátor, model kormidla a navedenia). Koordinátor v ponímaní tohto modelu je vytvorený ako model senzora poskytujúceho informáciu o polohe cieľa a jeho pohybe vzhľadom voči rakete.



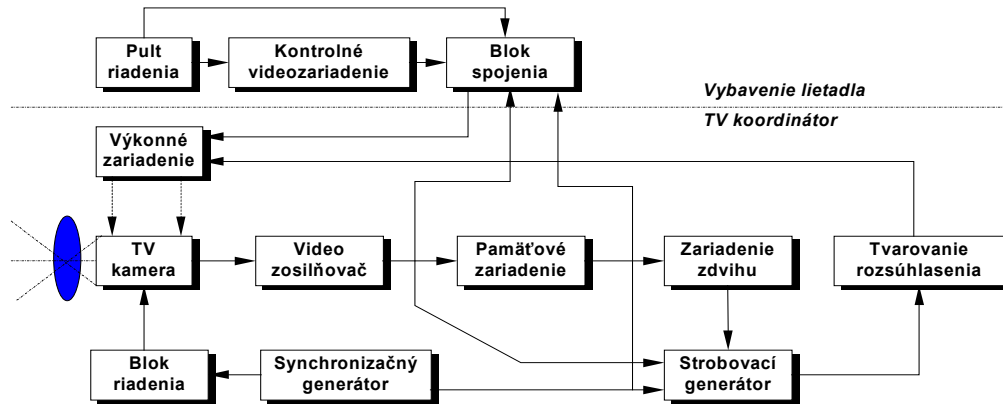
Obr. 4: Model servokoordinátora so stabilizáciou v prostredí SIMULINK®.

Výsledky simulácie navedenia sú prezentované na proti zemnej riadenej rakete, ktorá pôsobí na pozemný cieľ metódou proporcionálnej navigácie. Koefficient proporcionálnosti bol zvolený $k = 10$. Na danom modeli leteckej riadenej rakety môžeme simulovať zmenu rýchlosti pohybu cieľa, polohu rakety, výšku odpalu, polohový uhol raketa – cieľ. Výsledné odozvy ako sú: frekvenčné a fázové charakteristiky, zmeny uhla nábehu LRR pri natočení kormidla, sú porovnávané pre prípad stabilizovanej a nestabilizovanej leteckej rakety. Priebehy navedenia leteckej rakety na pozemný cieľ (Obr.5) dokumentujú zachytenie a sledovanie cieľa raketou metódou proporcionálnej navigácie.



2 SIMULÁCIA KOORDINÁTORA RAKETY

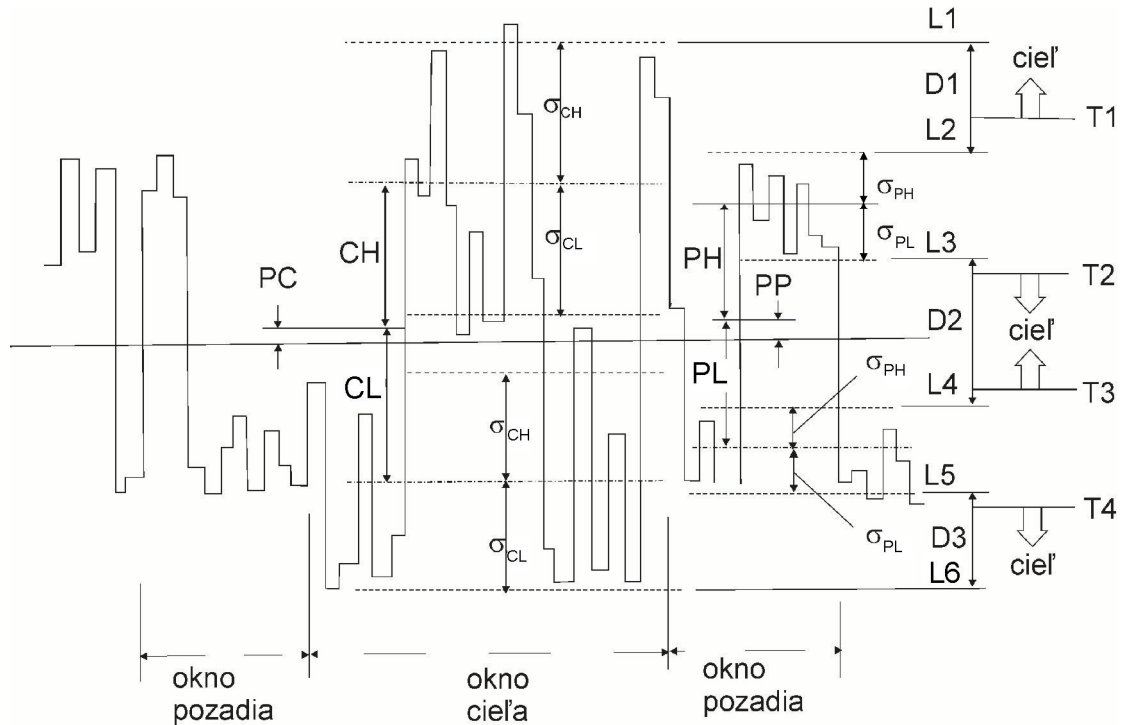
Uvedené letecké riadené rakety, ktoré sú navádzané na cieľ pomocou televíznych navádzacích systémov majú v prednej časti rakety umiestnený televízny koordinátor, ktorého činnosť je založená na princípe sledovania kontrastu medzi sledovaným objektom a pozadím u cieľov bez tepelného alebo rádiolokačného kontrastu. Pre získanie etalónového zobrazenia je nutné aby sa vybraný cieľ nachádzal v strede zorného poľa kontrolného videozariadenia. Operátor (pilot), vykonáva pomocou riadiaceho pultu výber cieľa a nastavenie zámerného kríža na cieľ. Po zachytení cieľa, TV - koordinátor prechádza do režimu automatického sledovania, porovnáva etalónový a užitočný signál v palubnom počítači.



Obr 6: TV koordinátor s korelačným spracovaním signálu.

Zóna záujmu TV – koordinátora LRR je definovaná ako výsek nasnímaného obrazu z priestoru v ktorom sa nachádza objekt zachytenia. Z popisovanej problematiky predchádzajúcich častí tohto príspevku bol navrhnutý algoritmus, ktorý rieši detekciu cieľa v obraze, jeho zachytenie a výpočet zmeny polohy v obraze. Pri samotnej realizácii algoritmu bolo využité prostredie MATLAB® SIMULINK® s jeho knižnicou Image processing. Inteligentný sledovací algoritmus ohraňuje cieľ tzv. adaptívnou bránou a pre lepšiu segmentáciu cieľov využíva metódy viacerých prahov a viacerých parametrov. Pravouhlá adaptívna brána sa musí nastaviť tak, aby ohraňovala výhradne oblasť cieľa, vďaka čomu sa redukuje vonkajšie zarušenie pozadia v zornom poli. Brána pozadia sa nachádza hneď po obvodnej strednej brány. Z obrazu sa vyberajú tri parametre : intenzita, priestorová frekvencia a vnútorné gradienty. Pre každý z týchto parametrov sa určuje prah pomocou metódy viacerých prahov, kde sa automaticky využívajú až 4 prahy, pomocou, ktorých je možné určiť, či sú pixle nad, pod alebo medzi pásmami hodnôt pozadia. K zvýšeniu dôjde zmenou intenzity pixlu ak priestorová frekvencia alebo hodnota gradientu majú hodnotu nad príslušným prahom. Pre parameter intenzity s vyššou hodnotou sa napokon určí prah, čím sa dosiahne segmentovaný obraz. Z tohto segmentovaného obrazu sa následne odvádzajú ako veľkosť adaptívnej brány tak aj smerové povely pre snímač a signály pre navádzanie rakety.

rozmer 50×75 pixlov obrazu. V ďalšom kroku sa nastavuje prah objektu a prah pozadia a sleduje sa štandardná odchýlka pixelov nad a pod hodnotou prahov sledovacieho okna a pozadia. Na základe predchádzajúcich operácií sa určia úrovne sledovania tzv., viacnásobné prahy, z ktorých sa za pomoci štandardných vlastností obrazu vypočítava oblasť pravdepodobných pixelov hľadaného objektu a pozadia. Nastavenie úrovni jednotlivých prahov vychádzalo zo znázorneného priebehu signálu v jednom riadku obrazu na (Obr.9).



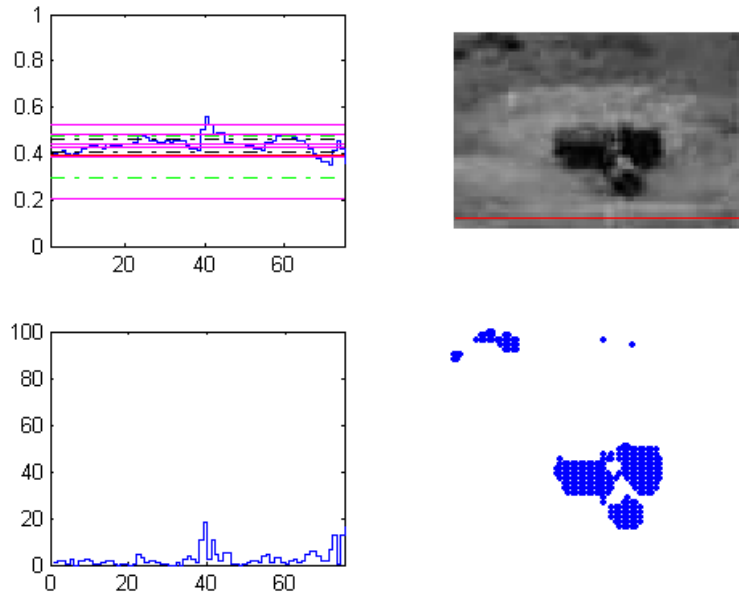
Obr. 9: Nastavenie úrovni prahu pre cieľ a pozadie (princíp multithresholdingu)

Nastavenie úrovni prahov pre cieľ a pozadie v sledovacom okne vykonávame algoritmom v prostredí MATLAB, kde:

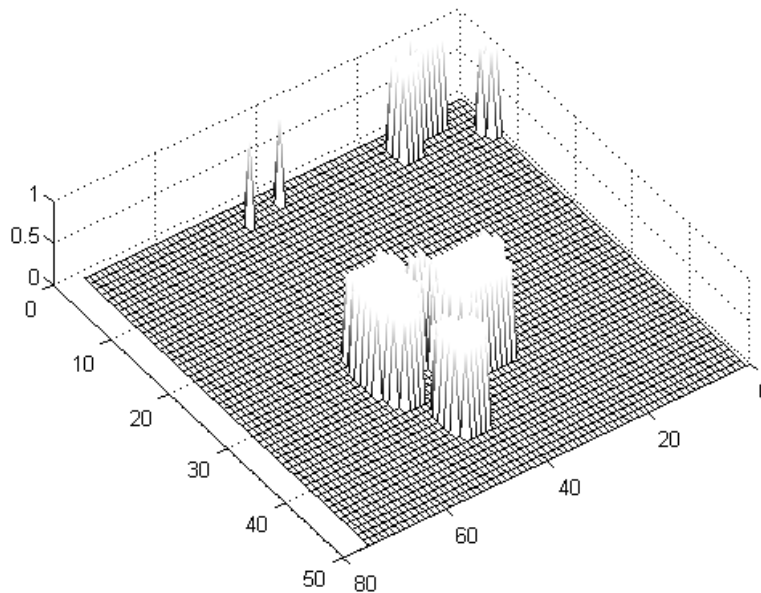
- PC - je stredná hodnota prahu cieľa,
- PP - je stredná hodnota prahu pozadia,
- CH - je horná úroveň prahu cieľa,
- CL - je dolná úroveň prahu cieľa,
- PH - je horná úroveň prahu pozadia,
- PL - je dolná úroveň prahu pozadia,
- σ_{CH} - je štandardná odchýlka cieľa nad prahom,
- σ_{CD} - je štandardná odchýlka cieľa pod prahom,
- σ_{PH} - je štandardná odchýlka pozadia nad prahom,
- σ_{PD} - je štandardná odchýlka pozadia pod prahom,
- D_1 - je úroveň prahu pre cieľ 1,
- D_2 - je úroveň prahu pre cieľ 2, 3,
- D_3 - je úroveň prahu pre cieľ 4.

Algoritmus prahovania pracuje s nastavenou logikou, v ktorej sleduje oblasti intenzity obrazu pre sledovaný pixel obrazu v stanovenej podmienke pre ktoré platí: $D_1 > 0$ a intenzita pixelu $> T_1$, alebo $D_2 < 0$ a intenzita pixelu $< T_4$, alebo $L_3 > L_4$ a $T_2 > T_3$ a $T_3 < \text{intenzita pixelu} < T_2$.

Algoritmus je schopný v danom obraze vyselektovať objekt záujmu, čím je možné určiť súradnice vybraného objektu pri prvotnom výbere v sledovacom okne. Následná postupnosť obrázkov znázorňuje určenie hraníc strednej hodnoty pixelov v okne a pozadia, nastavených prahov pre cieľ a pozadie, v postupnom prechádzaní obrazu po jednotlivých riadkoch vybraného okna a v konečnom zobrazení vybraného a vydetekovaného objektu.



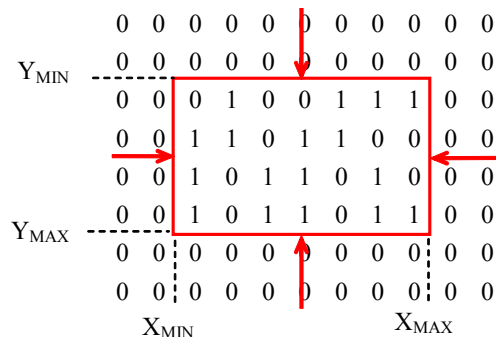
Obr. 10: Výstupná informácia o polohe reálneho objektu v obraze.



Obr. 11: 3D graf polohy reálneho objektu po detekcii viacúrovňovým prahovaním.

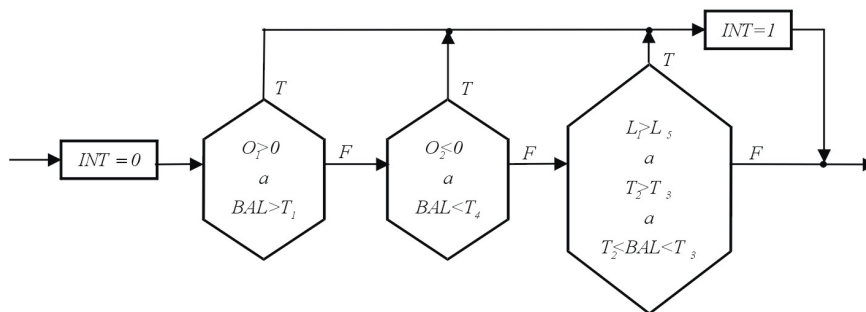
V časti obrázku je vidieť, že došlo k detekcii aj parazitných pixelov, ktorých intenzita bola blízka hodnote intenzity pre cieľ. Tento stav je možné odstrániť tým, že vybraný objekt, je určený

stredom výberového okna a určením jeho hraníc je možné zanedbať okolie. Určenie horných, dolných, pravých a ľavých hraníc objektu Y_{MIN} , Y_{MAX} , X_{MIN} , X_{MAX} , je vykonané na základe logiky, ktorá je zobrazená na (Obr.12)



Obr.12: Prahovaním ohraničená plocha cieľa.

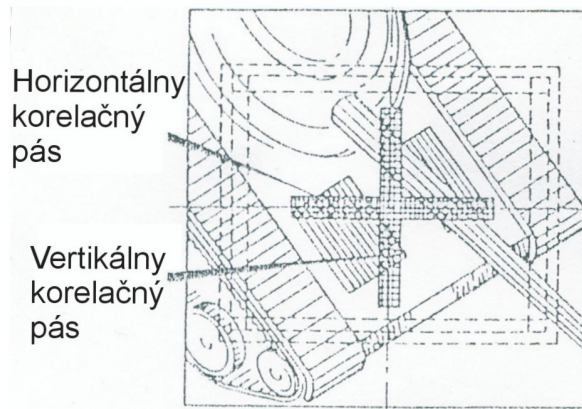
Táto logika predpokladá, že hodnoty pixelov objektu sú po detekcii nastavené na hodnotu 1 a hodnoty pozadia na 0. Následne sa vykonáva postupné prehľadávanie v okne po riadkoch a stĺpcoch zhora aj z doľa do doby, pokiaľ nedôjde k objaveniu prvej 1 v riadku alebo stĺpci. Číslo takto vydetekovaného riadku alebo stĺpca tak udáva hranicu okna v obraze. Na (Obr.13) je znázornený postup činnosti algoritmu pri určovaní hodnoty prahu.



Obr.13: Vývojový diagram určenia prahu intenzity

Signály, ktoré určujú šírku a výšku stredného okna sa spracovávajú číslcovými filtermi

Počas koncového navádzania sa obraz cieľa postupne zväčšuje až nakoniec zaplní celé zorné pole. V tomto prípade nebude algoritmus adaptívneho okna pracovať, ak presiahne stredné okno hodnoty 80% zorného poľa zapína sa jednoduchý korelačný sledovač. Pre vytváranie chybových signálov serv pre pohyb okolo pozdĺžnej a zvislej osi sa používajú vertikálne a horizontálne korelačné pásy (Obr.14).

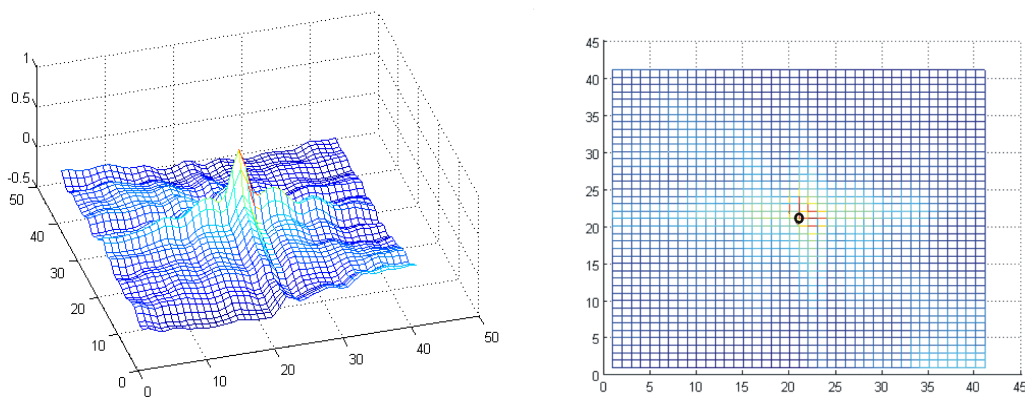


Obr.14: Zorné pole jednoduchého korelačného sledovača

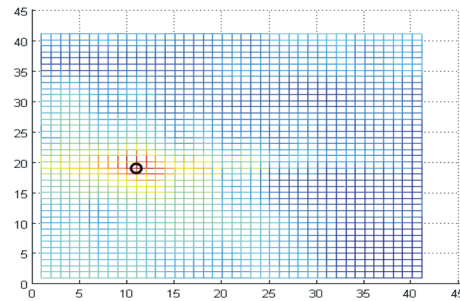
Tieto pásy majú šírku 4 pixely, vďaka čomu je citlivosť na náklon rakety nižšia. Každá skupina 4 pixlov sa spriemeruje vďaka čomu sa získa jeden znak v smere pásu. Výsledkom je horizontálny znak 1×40 pixlov a vertikálny 1×72 pixlov. Korelácia sa vykonáva zmenou aktívneho znaku o 4 pixle doľava a 4 pixle doprava s ohľadom na referenčný znak. Aby bolo možné nájsť chybové signály pohybu okolo pozdĺžnej a zvislej osi, je nutné určiť zmenu s najväčšou koreláciou. Číslo zmeny 0 predstavuje podmienku nulovej chyby. Číslo zmeny (v pixloch) sa prevádza na chybu odchýlky (od čísla zmeny 0 v radiánoch).



Obr.15: Počiatočná poloha objektu pri sledovaní.



Obr.16: Korelačná analýza objektu s nulovou odchýlkou.



Obr.17: Posuv objektu v osi $d_x = -10$, $d_y = 2$ pixelov.

(Obr.15) predstavuje objekt s nulovou odchýlkou polohy, kde po predchádzajúcej detekcii určené sledovacie okno korelujeme so vstupným obrazom. (Obr.16) znázorňuje polohu objektu s nulovou odchýlkou po korelácií, v našom prípade základnú polohu objektu po prvom nasnímaní obrazu. (Obr.17) znázorňuje postupnú zmenu polohy objektu v obraze s určením zmenenej polohy v pixloch.

ZÁVER:

Navrhnutý algoritmus viacúrovňového prahovania detekuje vybraný objekt v sledovacom okne LRR. Správnym nastavením prahov v sledovacom algoritme je možné oddeliť vybraný objekt voči pozadiu, danú skutočnosť dokumentuje (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Vzhľadom na dosiahnuté výsledky je možné vysloviť aj myšlienku, že využitie takého algoritmu nie je iba vo viditeľnej oblasti spektra, ale aj pri využití infračervených typov CCD snímačov. Daný korelačný algoritmus má využitie v konečnej fáze navedenia LRR, keď tým že sa zväčšuje rozmer cieľa v obraze sa obmedzuje možnosť použitia prechádzajúcej metódy viacúrovňového prahovania. Výstupná informácia po korelácií prichádza do riadiaceho systému rakety, ktorý natáča kormidlá rakety v závislosti na odchýlke cieľa.

Použitá literatúra:

- [1] Arulampalam, M. S. – Maskell, S. – Gordon, N. J – Clapp, T.: A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking, IEEE 2002
- [2] Bruno, M. G. S. – Moura, J.M.: Multiframe detection /tracking in clutter: optimal performance, IEEE 2001.
- [3] Dahlgren, J.: Robust nonlinear control desing for a missile usingbackstepping, Linköping, 2003
- [4] Durhan, W. C.: Aircraft Dynamic & Control, Virginia, 2002
- [5] Evans, S. J. – Evans, J. R.: Image-Enhanced Multiple Model Tracking, 1997
- [6] Hlaváč, V. – Šonka, M.: Počítačové videní, Grada, 1992
- [7] Sopata, M. – Soták, M.: Application of the Navigation Sensors on the Developed UAV OKO-II, NATO SYMPOSIUM, Sensors & electronics technology panel TURKEY, 14.-16.10.2002
- [8] Štěpánek, M. - Fousek, V.: Letecké rakety a řízené střely část II., VAAZ, Brno, 1985

Autor:

Ing. PhD., Letecká fakulta TU v Košiciach, Katedra Avioniky, Rampová 7, 040 01 Košice, robert.breda@tuke.sk