

Aplikácia kamerového snímača v procesnej automatizácii

Juraj Gabriel, Štefan Sudolský

Táto práca sa zaoberá aplikáciou kamerového systému CMS ako snímača, použiteľného v procesnej automatizácii. Zaoberá sa spracúvaním a analýzou obrazu a následným vyhodnocovaním merania. Uvedením charakteru komunikačného rozhrania demonštruje možnosti prepojenia s nadradenými systémami riadenia, ako je napr. priemyselné PC alebo PLC.

Úvod

Zrak a vnímanie vizuálnych podnetov je asi najdôležitejším zmyslom ľudského organizmu. Schopnosť rozlišovať vnemy, ktoré sa odohrávajú okolo, a porozumieť im, je pre nás stále hádankou. Rozvoj hardvérových a softvérových technológií nám umožňuje využívanie nových metód spracovania obrazu, náročných na výpočet, a tak sa priblížiť k predstave tzv. umelého videnia.

Využívanie umelého zraku nachádza uplatnenie v širokom spektre aplikácií, či už v medicíne ako náhrada strateného zmyslu alebo v priemysle ako potreba oslobodenia človeka od náročných úkonov, vyžadujúcich neustálu sústredenú pozornosť. Dopyt po precíznej a rýchlej diagnostike výrobkov umožňuje rozvoj a integráciu inteligentných snímačov, pracujúcich na báze snímania a spracovania obrazu.

Jedným z týchto snímačov sa zaoberá aj táto práca, tzv. kamerovým meracím systémom CMS (Camera Measurement System). Poukazuje na jednotlivé, po sebe nasledujúce stupne spracovania a vyhodnocovania obrazu: od jeho zaznamenania, vyfiltrovaného a úpravy, cez aplikáciu metódy rozlišovania a interpretácie obrazu až po vyhodnotenie naprojektovaného merania a transformácie jeho výsledku do zrozumiteľnej podoby.

Aby sa zaručila dokonalá funkčnosť hocijakého snímača, nestačí len zabezpečiť správne vyhodnotenie v oblasti merania, ale aj poskytnúť nameranú informáciu tam, kde je potrebná. V súčasnosti sa uplatnilo množstvo typov komunikácií vo všetkých hierarchiách procesnej automatizácie. Práve tejto problematike sa venuje druhá časť práce, a to komunikácii na procesnej úrovni, zamierenej hlavne na priemyselný Ethernet.

1. Rozlišovanie objektu

Základnou funkčnosťou systému je rozlišovanie zvolených objektov na základe ich špecifických vlastností, čiže zmeranie vopred určených parametrov objektu a ich následné vyhodnotenie. Vstupný obraz sa sníma prostredníctvom kamery a je zašumený, preto musí pred spracovaním a vyhodnotením prejsť cez jednotlivé fázy spracovania obrazu.

Postup spracovania a rozlišovania obrazu reálneho sveta sa rozkladá do nasledujúcich postupností:

- snímanie, digitalizácia,
- predspracovanie,
- segmentácia obrazu na objekty,
- opis objektov,
- klasifikácia objektov na základe nameraných vlastností.

Snímanie a digitalizácia sa vykonáva prostredníctvom kamery, v predspracovaní sa zosnímaný obraz zlepšuje filtrovaním (použiť možno aj rôzne transformácie). Pri segmentácii obrazu sa používa prahovanie, na základe ktorého sa opisujú objekty a následne vykonáva ich klasifikácia.

1.1 Filtrovanie obrazu

Pri snímaní obrazu v reálnych podmienkach nemožno zamedziť jeho skresleniu šumom zahrnutým v obrazových informáciách. Úlohou predspracovania je zlepšiť vstupné údaje a pripraviť ich na ďalšie spracovanie. Pri obraze je jedna z možností filtrovanie, teda vyhladzovanie obrazu, a to priemerovaním alebo mediánom na základe masky okolia.

Pri filtrovaní používame lokálne okolie bodu $O(x, y)$, ktoré zohľadňujeme pri oprave bodu:

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{(i, j) \in O} f(i, j) \quad (1)$$

kde M je počet bodov okolia O ,
 f – hodnota bodu v pôvodnom obraze a
 g – v novorekonštruovanom.

Jeden zo základných filtrov je priemerovanie, ktoré má konvulčnú masku pre okolie s rozmermi 3 x 3:

$$h = \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

V rôznych prípadoch je vhodné priblížiť sa vlastnostiam Gaussovského rozdelenia:

$$h = \frac{1}{10} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Možné sú aj iné variácie konvulčnej masky.

Špeciálnym prípadom je filtrácia mediánom. Medián je premená používaná v teórii náhodnej premennej. Pri výpočte mediánu stačí usporiadať hodnoty jasu v lokálnom okolí a medián je hodnota prvku uprostred. Nevýhodou filtrácie mediánom je, že ruší tenké čiary, preto sa pri výpočte neberú všetky prvky okolia bodu, ale len tie, ktoré sa nachádzajú naľavo, napravo, hore a dole od upravovaného bodu. Tie sa zoradia podľa veľkosti prvkov a prvok, ktorý sa nachádza v strede, je medián.

1.2 Prahovanie

Patrí k segmentačným metódam, ktoré využívajú globálne znalosti obrazu, kde sa vychádza zo znalosti, že objekt, príp. viac objektov sú charakteristické konštantnou odrážavosťou. Potom možno oddeliť objekt od pozadia na základe určených konštant jasu. Vzhľadom na nízku výpočtovú náročnosť s ňou možno pracovať v reálnom čase.

Pri prahovaní, teda detekcii hran je hrana vlastnosť časti obrazu a jeho okolia, pričom ide o vektorovú veličinu, ktorá je určená veľkosťou a smerom. Táto veličina vychádza z gradientu a vystihuje zmenu, v tomto prípade obrazovej funkcie.

Veľkosť gradientu ∇ je daná vzťahom:

$$|\nabla g(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (4)$$

Často sa používa Laplaceov operátor ∇^2 , a to vtedy, ak sa zaujíma o veľkosť a smer gradienta.

$$\nabla^2 g(x, y) = \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial y^2} \quad (5)$$

Detekcia hrán gradientovým operátorom abstrahuje od vlastností objektu, ktorého hranica má byť určená. Určovanie hraníc objektov je komplexnejšia úloha, ktorou sa zaoberajú segmentačné metódy.

Prahovanie je transformácia vstupného obrazu $f(x, y)$ na výstupný $g(x, y)$ na základe funkcie prahovania T (príp. prahovacej konštanty):

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pre } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{pre } f(x, y) < T \end{cases} \quad (6)$$

Pre takto upravený vstupný obraz môže byť uskutočnené hľadanie charakteristických vlastností, podľa ktorých sa určí korešpondencia skúmaného objektu s predlohou.

1.2.1 Spájanie meraní

Systém umožňuje vytváranie niekoľkých meraní (aj rôznych typov merania) súčasne, t. j. určia sa vlastnosti skúmaného objektu, ktorých môže byť niekoľko a môžu byť získané rôznymi spôsobmi (v ďalšom texte sa budú označovať pojmom meranie). Pri viacerých meraniach na jednom objekte vystupuje do popredia otázka spoločnej interpretácie týchto meraní nad skúmaným objektom, odhliadnuc od metódy merania. Riešenie tohto problému sa zvolilo pomocou navrhnutej gramatiky, ktorou sa dajú tieto merania spájať a vyhodnocovať.

Na opis tejto gramatiky musíme zdefinovať spôsob jej opisu. Gramatikou budeme nazývať štvoricu $G = (N, T, P, S)$, kde N je konečná množina netermálnych symbolov, T – konečná množina termálnych symbolov, pričom $N \cap T = \emptyset$, S – začiatkový symbol, $S \in N$, P – množina prepisovacích pravidiel.

Potom gramatika, ktorou sa opisujú merania, vyzerá takto:

$$\begin{aligned} G &= (\{E, T, F\}, \{+, \cdot, \cdot, \cdot\}, P, E) \\ P: E &\rightarrow E+T | T \\ T &\rightarrow T \cdot F | F \\ F &\rightarrow (E)a \end{aligned} \quad (7)$$

napr. $(a + b) \cdot c$ je totožné s $(a \cdot b) + c$ and c

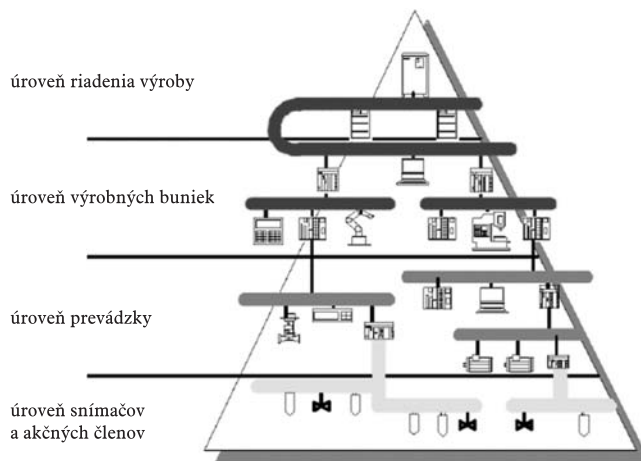
Tento príklad opisuje tri merania a, b, c , kde sa výsledok meraní a, b logicky sčíta a výsledok sa logicky vynásobí s meraním c . Výsledok určuje korešpondenciu meraného objektu.

Na vyhodnotenie výrazu je potrebná syntaktická analýza daného výrazu, ktorá sa vykonáva zhora nadol, t. j. začíname od začiatkového symbolu gramatiky a postupnou aplikáciou prepisovacích pravidiel na najľavší symbol dôjdeme k symbolom analyzovanej vety.

1.3 Komunikácia v priemysle

Základnou požiadavkou na riadenie procesu je existencia spätnej väzby, resp. odovzdávanie informácií o aktuálnom stave riadeného procesu a možnosť generovania nových akčných zásahov podľa regulácie.

Novodobé technológie umožňujú nahrádzanie analógových zariadení za číslicové, či už ide o riadiace jednotky, snímače alebo akčné členy navzájom prepájané komunikačnými zbernicami. Tak ako rozdeľujeme hierarchiu technológie do štyroch základ-



Obr.1 Hierarchia nasadzovania zbernic v štruktúre procesu

ných úrovni, tak rozdeľujeme aj nasadenie typov týchto komunikačných zbernic (obr. 1):

- Úroveň riadenia výroby – v tejto úrovni sú riešené nadradené úlohy riadenia celej výroby (funkcia manažmentu). Okrem spracovania a ukladania procesných veličín sa vykonávajú analýzy výroby zaznamenávané v protokoloch. Potrebné údaje sa zbierajú miestne a následne spracúvajú. V tejto úrovni môže byť až 1000 účastníckych staníc, podieľajúcich sa na zbieraní a spracúvaní údajov.
- Úroveň výrobných buniek – v úrovni sa spracúvajú automatizačné a optimalizačné úlohy procesu. Vznikajú komunikačné rozhrania medzi riadiacimi jednotkami, diagnostickými zariadeniami a prostriedkami HMI.
- Úroveň prevádzky – predstavuje spájajúcu úroveň medzi linkami a automatizačnými zariadeniami. Decentrálne riadiace jednotky merajú, ohlasujú a odovzdávajú riadiace povely jednotlivým linkám. Typická je hierarchická komunikácia typu Master/Slave.
- Úroveň snímačov a akčných členov – predstavuje najnižšiu úroveň spracovania, reprezentovanú nadradenou jednotkou Master, komunikujúcou s podriadenými zariadeniami na danej podsieti. Prenos údajov je charakterizovaný vysokou rýchlosťou prenosu a malým objemom údajov.

Kamerové systémy, resp. snímače alebo diagnostické zariadenia možno aplikovať v každej z uvedených úrovni. Jedinou požiadavkou na integráciu je objem meraných údajov, ktoré treba prenášať a, samozrejme, s tým spojené komunikačné rozhranie.

V našej práci sme sa zamerali na komunikáciu založenú na báze priemyselného Ethernetu, využívaného hlavne v prvých dvoch úrovniach procesnej automatizácie, ale s miernou modifikáciou softvéru je možné nasadenie v celej hierarchickej štruktúre.

1.3.1 Komunikačné a softvérové rozhranie

Komunikačné a softvérové rozhranie opisuje funkcie definované určitými znakmi výkonu, napr. výmena údajov, riadenie zariadení, kontrola a správa funkčnosti programu. Komunikačné služby sa pomocou softvérového rozhrania ponúkajú koncovému, nadriadenému systému, pričom môžu rôznorodou kvalitou využívať úroveň referenčného modelu ISO, pozostávajúceho zo 7 vrstiev:

- aplikačná vrstva,
- prezentačná vrstva,
- relačná vrstva,
- transportná vrstva,
- sieťová vrstva,
- linková vrstva,
- fyzická vrstva.

Ak prebieha výmena údajov medzi dvomi zariadeniami na spoločnej zbernici, treba definovať pravidlá zasielania týchto údajov

a spôsob prístupu k prenosovému médiu. O pravidlá komunikácie sa stará tzv. komunikačný protokol. Predstavuje bitovo presnú dohodu medzi komunikujúcimi partnermi pri dopytovaní sa na niektorú z ponúkaných služieb. Protokol definuje vnútornú štruktúru dátového prenosu na fyzickej vrstve, akou je režim chodu, postup pri vytvorení spojenia, ochrana údajov alebo prenosová rýchlosť.

Keďže na zbernici môže naraz vysielat' nanajvyš' jedno zariadenie, vytvorili sa rôzne metódy prístupu k médiu, ktorými sú:

- prístup Master/Slave,
- prístup Token Passing,
- prístup CSMA/CD.

Zbernica priemyselného Ethernetu využíva náhodný prístup k médiu s detekciou kolízie vysielania, teda princíp CSMA/CD podľa normy IEEE 802.3.

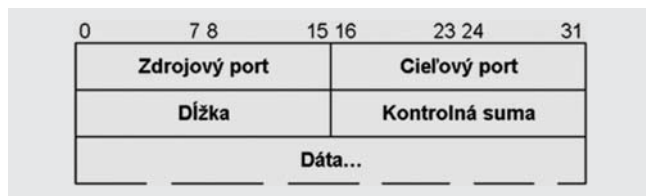
1.3.2 Spojenie s nadriadenou jednotkou

V praxi sa snímače a meracie zariadenia pripájajú k vyšším formám riadenia, ako sú priemyselné PC alebo programovateľné logické automaty PLC, predstavujúce neoddeliteľnú súčasť distribuovaných riadiacich systémov, zabezpečujúcich automatizované systémy riadenia technologických procesov. Reprezentujú skupiny modulárnych systémov s rozmanitým výberom periférnych vstupno-výstupných rozhraní.

Pri overovaní funkčnosti CMS sme ako nadradenú jednotku zvolili PLC rady SIMATIC S7-300 s modulom pre priemyselný Ethernet a komunikačný protokol z radu S5 kompatibilných protokolov, protokol UDP.

1.3.3 Protokol UDP

UDP (User Datagram Protocol) ponúka služby jednoduchej komunikácie po priemyselnom Ethernete bez potvrdzovania. Predstavuje jednoduchú transportnú službu bez ochrany prijatia vyslaných údajov adresátovi. UDP umožňuje prenášať až 2 kB údajov a v referenčnom modeli ISO spadá do štvrtej vrstvy hierarchie.

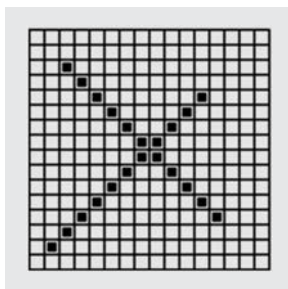


Obr.2 Formát hlavičky UDP

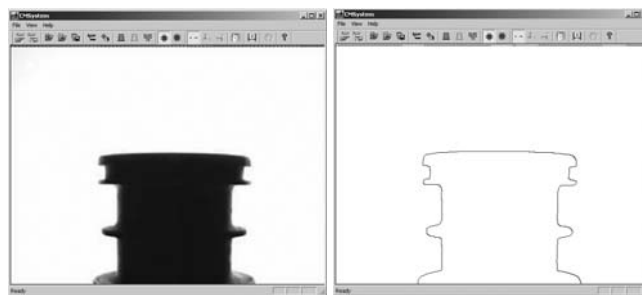
Formát hlavičky dátovej správy protokolu UDP je na obr. 2; obsahuje len základné informácie o odosielateľovi, príjemcovi, celkovej dĺžke zasielaných údajov a kontrolnej sume, zabezpečujúcej kontrolu správnosti ich prijatia.

1.4 Zhodnotenie získaných poznatkov

Určovanie hraníc objektov je najdôležitejšou metódou používanej v systéme, od ktorej závisí celkový úspech merania, ak predpokladáme, že obraz nie je natoľko ovplyvnený šumom, aby sa musel filtrovať obraz. Prahovanie bolo preto vylepšené o isté tolerancie pri nábehovej aj pri dopadajúcej hrane, aby sa nemohlo stať, že hrana niekoľkokrát prekmitne. Podobne sa zlepšilo aj meranie (určovanie objektov) o isté hodnoty tolerancie, aby sa pri nepatrnom skreslení objektu neznehodnotilo celé jeho vyhodnotenie.

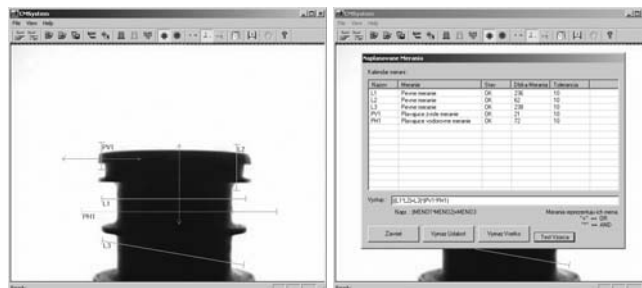


Obr.3 Určovanie prienikov objektov



a) scéna

b) spracovanie obrazu



c) definovanie merania

d) záznam meraní

Obr.4 Ukážka aplikácie

Ďalším problémom v prahovaní bola jeho nekorrektnosť pri sledovaní a určovaní prienikov objektov, kde vystupuje do popredia problém uzatvorenosti oblastí a kríženia priamok (obr. 3). Problém spočíva v rasterizácii celej scény a jej vyhodnotení, pretože v geometrii sa dve priamky (úsečky) pretínajú vtedy a len vtedy, keď majú spoločný bod, čo môže pri rastrovanom obrázku predstavovať problém. Riešenie je v zohľadňovaní istého malého okolia pri vyhodnocovaní. V systéme bol tento problém spojený s optimalizáciou prahovania, kde sa prahuje iba nad vektorom, ktorý je určený meraním (vlastnosťami objektu) a hneď pri rastrovaní sa vykonáva aj prahovanie. Toto riešenie prinieslo zrýchlenie celého procesu vyhodnocovania obrazu, pretože prahovanie sa vykonáva nie nad celým obrazom, ale iba nad významnou oblasťou. Na druhej strane je tento spôsob niekoľkokrát pomalší, ak by sa mal odprahovať celý vstupný obraz. V tom prípade je globálne prahovanie rýchlejšie ako prahovanie po vektoroch.

Systém umožňuje voliť niekoľko vlastností jedného objektu a zároveň umožňuje predefinovať niekoľko desiatok (stoviek) objektov naraz. Vďaka svojmu univerzálnemu komunikačnému rozhraniu, postavenému na platforme protokolu UDP, je schopné komunikovať s ľubovoľným počtom zariadení v sieti v režime Master/Slave. Možnou nevýhodou sa javí vlastnosť protokolu UDP nepotvrdzovať prijaté správy, ktorá by mohla spôsobiť narušenie komunikácie. Toto negatívum bolo odstránené na aplikáčnej úrovni, riadiacou jednotkou, ktorá sa neustále dopytuje na stav CMS, čo v konečnom dôsledku umožňuje rýchlu detekciu poruchy zariadenia.

Trojstavový komunikačný protokol umožňuje meranie v troch krokoch: nastavenie masky, analýza merania a zaslanie výsledku merania. Pomocou jednoduchšej zmeny softvérovej služby smerovača (router) možno pripojiť zariadenie na ľubovoľnú komunikačnú sieť alebo vstupno-výstupnú perifériu.

Bc. Juraj Gabriel

Šášovská 8
Bratislava 851 06
Tel.: 0903 70 88 90
e-mail: juraj.gabriel@zita.sk

Bc. Štefan Sudolský

Topoľčianska 31
Bratislava 851 06
Tel.: 0904 27 17 72
e-mail: sudolsky@stonline.sk