

ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИЕТО НА СМАРТ КАМЕРИТЕ ЗА ТЕХНИЧЕСКО ЗРЕНИЕ

Данаил Славов

Резюме: Настоящата работа разглежда някои от най-забележителните тенденции в развитието на смарт камерите за техническо зрение към момента. Описано е разделянето на функциите по обработка на данни между централния процесор и FPGA. Представена е продължаващата тенденция за миниатюризация, способстваща още по-широкото навлизане на устройства за техническо зрение в роботиката, самоуправляемите автомобили и здравеопазването. Индустрия 4.0 също налага редица изисквания, в т.ч. съвместимост с промишлени мрежови стандарти с цел комуникация по всички индустриални протоколи. Накрая са представени тенденциите в наличния софтуер, включително патентовани алгоритми и отворени продукти.

Ключови думи: техническо зрение, машинно зрение, смарт камери, роботика, Индустрия 4.0

PROGRESS AND TRENDS IN MACHINE VISION SMART CAMERAS

Danail Slavov

Abstract: This paper examines some of the most remarkable trends in the current development of smart cameras for machine vision. It describes the partitioning of data processing between the CPU and the increasingly utilized FPGA. Attention is paid to the ongoing tendency for miniaturization which contributes to an even wider spread of machine vision devices into the fields of robotics, self-driving cars and healthcare. The Industry 4.0 concept also has its impact on the progress of machine vision cameras, including the need for compatibility with industry standards facilitating the communication across all major industrial protocols. Finally, a reference is made to the available software for machine vision, including proprietary algorithms and open-source products.

Keywords: machine vision, smart cameras, robotics, Industry 4.0

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В производствената индустрия има силен стремеж за контролиране на протичащите процеси във всичките им проявления. Това обикновено се реализира с измерване на променливите преди и след процеса. Широко използван метод за получаване на тези данни е чрез системи за техническо зрение. Те могат да заснемат изображения, да правят измервания и проверки чрез анализ на тези изображения. Възможностите на такава система зависят преди всичко от използвания хардуер

и софтуер за осъществяване на анализа. Това, което прави тази технология толкова мощна, е че вместо локални измервания например с лазерен или физически сензор тя може едновременно да извършва множество измервания върху само едно изображение [4].

Широко се използват два типа реализации на техническо зрение: смарт камери и системи с персонален компютър (ПК). Първите обикновено се състоят от лещи, сензор, интегриран модул за обработка на данни, памет, съдържаща софтуера за обработка, и входно-изходни канали, реализиращи определени интерфейси. При системите с ПК камерата предава заснетите изображения чрез специален протокол към външен компютър, където се извършва обработването им.

Използването на смарт камери започва през 80-те години на миналия век. Първоначално в тях се включват нископроизводителни процесори и се предлагат за приложения само с една конкретна цел - например четене на баркодове, локализиране на вземане на решения за успех/неуспех, оптично разпознаване на символи или броене – която не изисква програмиране. Трудното управление на алгоритми за разпознаване с еталон на клас по това време означава, че сложните изображения или операции, изискващи бърз анализ, остават извън възможностите им. И все пак производителите постепенно изявяват желание да жертват производителността и гъвкавостта на системите с ПК за сметка на лекотата при работа и компактната структура на смарт камерите.

С подобряването на обработката смарт камерите започват да конкурират системите с ПК при различни приложения, включително проверка на сглобяването, инспекция чрез 1D и 2D баркодове и насочване на работи. Те се възползват и от развитието в технологията на сензорите CMOS, в резултат на което понастоящем на пазара има голямо разнообразие от продукти с големи изчислителни възможности и резолюции. Макар вече да си проправят път към здравеопазването, охранителната и развлекателната индустрия, те основно се използват в производствения сектор, където употребата им продължава да расте - особено при необходимост от независимо инспектиране в няколко области от производствената линия, напр. в автомобилната промишленост.

Освен все по-ниската им цена основното предимство на смарт камерите е наличието на вградени изчислителни възможности за независимо решаване на задачи за разпознаване на образи без връзка с персонален компютър. Компактният форм-фактор позволява на смарт камерите да се побират в малки пространства или с тях да бъдат преоборудвани съществуващи процеси. Тъй като имат малък брой подвижни части и не генерират високи температури, разходите за поддръжката им остават ниски.

2. МНОГОПРОЦЕСОРНА АРХИТЕКТУРА

Съвременните смарт камери могат да осигуряват скорости до 300 кадъра в секунда (fps) при пълна 12-мегапикселова резолюция в 10-битов режим или 140 fps в 12-битов режим - характеристики, които само допреди няколко години са били непостижими. Намалването на ROI прозореца от изображението и следователно количеството данни в изображението може допълнително да увеличи скоростта.

Като елемент или модул за обработване на данни обикновено се използва централен процесор с общо предназначение (central processing unit, CPU), графичен процесор (graphics processing unit, GPU), микропроцесор за цифрова обработка на сигнали (digital signal processor, DSP) или програмируема логическа матрица (field-programmable gate array, FPGA).



Фиг.1.: Архитектура на смарт камерите

Важна тенденция в развитието на смарт камерите е използването едновременно на няколко елемента за обработване на данните. Многопроцесорните архитектури са полезни за осигуряване на висока производителност при обработката на изображения, необходима в приложенията на техническото зрение, тъй като при нея дейностите може да се разпределят между отделните процесори. Например точковата обработка и подобни на нея дейности – като изравняване на хистограмите и филтриране – най-ефективно се изпълняват от FPGA, докато задачите по статистическо разпознаване с еталон на клас могат най-добре да се реализират на микропроцесор с общо предназначение [2].

Въпреки че при отделните смарт камери архитектурата е различна, един от дизайните, доказали високата си ефективност, включва ARM процесор, комбиниран с FPGA. Логическата матрица се справя ефикасно с предварителната обработка и комуникационните интерфейси, за да осигури управление в реално време и нулево закъснение. Добавянето на FPGA за предварително обработване от ниско ниво е важна стъпка, тъй като освобождава процесора от тези задачи и той може да се съсредоточи върху високото ниво на обработване, което на свой ред намалява времето за изпълнение и латентността.

Съвременните FPGA, използвани в смарт камерите, може да се персонализират за специални целеви приложения и са предпочитана алтернатива на x86 процесорите. FPGA може вече да управлява видеопреобразувателя и входно-изходните комуникации, което чувствително подобрява работата със заснетите изображения и намалява натоварването на процесора. За разлика от сложните матрици, използвани в по-старите камери, модернизирани FPGA лесно могат да бъдат програмирани с езиците VHDL, Verilog и библиотеки като OpenCL. Потребителите са свободни директно да реализират патентовани алгоритми с цел намаляване на натоварването върху процесора, така че основната му задача да остане анализирането на данните, екстраполирани от FPGA.

3. РАЗПРЕДЕЛЕНИ МРЕЖИ

Стратегията за изграждане на мрежи от смарт камери, реализиращи разпределени алгоритми, също се доказва като ключов компонент за системите с вградено машинно зрение, който дава възможност за използване на технологии, насочени към облачни изчисления, интернет на нещата и много бъдещи приложения.

Разпределените алгоритми са предназначени да се изпълняват на хардуер, съставен от взаимно свързани процесори, и се прилагат в различни области като телекомуникации, изчислителни науки, разпределена информационна обработка и управление на процеси в реално време. Всеки от тези процесори, представляващи възли в мрежата, няма пряка информация за състоянието на останалите възли. Един възел може да извлече състоянието на друг само след получаване на съобщение от него. Предаването на съобщения в разпределените системи има нетривиална стойност, затова разпределените алгоритми целят минимизиране на броя съобщения, необходими за завършване на алгоритъма [5].

Разпределените смарт камери представляват реалновремени децентрализирани мрежи от вградени системи, които изпълняват сложни задачи с техническо зрение чрез няколко (или много) камери. Този подход възниква благодарение на обединяването на едновременни постижения в четири ключови дисциплини: компютърно зрение, видеопреобразуватели, вградени системи и сензорни мрежи. Разпределянето помага да се намали комуникационното натоварване в мрежата от камери и да се увеличи надеждността и мащабируемостта на многокамерните приложения. То също така олицетворява тенденцията в сензорните мрежи за вътремрежово обработване. Всяка смарт камера, която е част от мрежата, извършва огромен брой изчисления, за да компресира данните за изображението в по-абстрактна форма, което намалява необходимата честотна лента за предаването им. Тези мрежи се възползват от основните техники в организирането на ad hoc сензорни мрежи, но освен това се нуждаят от допълнителни слоеве за управление на локалното и нелокалното обработване [3].

Системите от смарт камери може да се разглеждат като форма на сензорни мрежи с по-различни характеристики: по-малко възли и повече изчислителни, комуникационни и енергийни ресурси във всеки възел. Специфичните характеристики на разпределените камери като сензорни мрежи водят до някои важни проблеми. Повишената скорост на изчисление и комуникация извиква нужда от по-усъвършенствани услуги за разпределени изчисления, например мигриране на задачите и балансиране на натоварването. Тези услуги са особено важни при приложения с повишена сигурност. Необходимо е точно калибриране на мрежите от камери както в пространството, така и във времето. Когато към системата се добави и звукова информация, времето калибриране става дори още по-важно [3].

Смарт камерите може да се комбинират с данни от сензори на други свързани устройства и по този начин да се добие представа за това, как всяка стъпка и променлива влияе върху крайния продукт.

Всички приложения на разпределените смарт камери изискват сливане на данните от изображения с цел интерпретиране на сцената. Тъй като обектите на интерес имат сложни геометрични отношения помежду си, за анализирането им

може да е необходимо взаимодействие между различни групи от камери. Поради движението на обектите е възможно групите от взаимодействащи си камери да се променят бързо. Предаването на цялото видеосъдържание от голям брой камери към централен сървър изисква много ресурси и по своята същност е немащабируемо. Комбинацията от много на брой възли, голямо бързодействие и постоянно променящи се връзки между камерите носи редица предимства пред сървърните архитектури, а алгоритмите за разпределени изчисления осигуряват реалистичен подход към създаване на големи децентрализирани системи от смарт камери.

4. МИНИАТЮРИЗАЦИЯ

Вградените приложения на смарт камери и двигатели в последните години бележат сериозен ръст в роботиката, автомобилостроенето, производството на медицински изделия и лабораторната автоматика. Това основно се дължи на изключително малкия размер на смарт камерите, както и на факта, че те съдържат всички необходими елементи за осветяване, увеличаване, обработване и комуникиране в един завършен сензорен модул. Много ключови компании в сферата на медицинската образна диагностика предоставят решения, реализирани с вградена образна технология. Тези малки, ефективни и „умни“ камери обикновено се монтират неподвижно или към малки роботи във вътрешността на автоматичното оборудване.



Фиг.2.: Ляво: индустриален робот на Microscan със смарт камера Vision HAWK; горе: лазерно насочвана смарт камера за заваряващи работи на Fanuc [7]

Това им помага да извършват действия като идентифициране на проби и реагенти, измерване на нивото на запълване, следене за наличие и отсъствие, качествени (напр. цветово) и количествени измервания на линейни и обемни величини, как-

то и много други дейности с цел проследяване на правилното протичане на процесите [6].

Новата вълна от смарт камери е стимулирана от тенденцията за все по-широко използване на миниатюрни, нискоенергийни технологии, много от които са заимствани от потребителските видеоустройства. Инженерите пренасят ARM процесорите, CMOS сензорите и други компоненти, типично използвани в устройства като смартфони, за да разработват още по-малки и „умни“ камери, удовлетворяващи все по-строгите изисквания за надеждност, гъвкавост и възпроизводимост, присъщи на техническото зрение. В резултат на това новото поколение смарт камери се приема все по-масабно в роботиката, наблюдението, самоуправляемите автомобили, здравеопазването, както и в традиционните приложения на техническо зрение като например автоматичното производство.

В електрониката и здравеопазването има особено силна нужда от използване на миниатюрни баркодове. Когато става въпрос за приложението на смарт камерите за разчитане на баркодове, тенденцията за миниатюризация в електрониката, както и изискванията на системите за присвояване на уникални идентификатори към медицинските изделия (напр. UDI) при производството им и в лабораторната автоматика, увеличават значението на способността за надеждно и съгласувано разчитане на такива малки кодове, които в някои случаи дори са невидими за човешкото око.

Наблюдава се и тенденция за заемане на технологии от смарт камерите за техническо зрение и оползотворяването им в потребителските камери, най-вече в развлекателната индустрия. Компанията Google например представи през 2018 г. продукта си Clips – нова камера, която използва машинно обучение, за да прави автоматично снимки на хора, домашни любимци и други неща, които намери за интересни. Също така много смартфони вече използват разпознаване на лицето за отключване.

5. ИНДУСТРИЯ 4.0

С наименованието Индустрия 4.0 се означава съвременната тенденция за автоматизиране и обмен на данни в производствените технологии. Тя включва кибер-физични системи, интернет на нещата, облачни и когнитивни изчисления. Често се нарича „четвъртата индустриална революция“.

В условията на Индустрия 4.0 устройствата се свързват с други компоненти и системи, участващи в създаването на индустриална стойност, с вътрешните локални индустриални мрежи и с интернет. Смарт камерите се свързват чрез локални мрежи (най-често Ethernet) към автоматични устройства, които реагират на подаваната информация, което незабавно води до желаното действие без никаква човешка намеса. От обикновен реактивен инструмент за откриване на дефекти днешните смарт камери се превръщат в извличащ инструмент, който използва техники от науката за данните и статистически методи в стила на големите данни (big data) за извличане на информация от изображения и прилагането ѝ в цялото предприятие.

Смарт камерите се вписват подходящо в концепцията за „умна фабрика“, тъй като предлагат резолюция от много мегапиксели и скорост, сравнима с тази на

система с ПК, но без размерите, отделяната топлина и енергийната консумация, присъщи на масивните процесори и сензори. Освен това, тъй като свързаността е ключов фактор, определящ успешната програма в Индустрия 4.0, много смарт камери са изградени така, че да поддържат широко установени стандарти в техническото зрение, като Camera Link, GigE Vision, CoaXPress или USB 3.

С помощта на смарт камери и анализ на данни например ръководителят на завода може да определи кога даден елемент от оборудването ще се повреди, преди екипът по поддръжката да забележи, че има проблем. Системите улавят предупредителни признаци, използват данни за създаване на график за поддръжка и проактивно обслужват оборудването, преди проблемът да настъпи. Друг пример е употребата на смарт камери за получаване на изображения на формовани детайли на всяка стъпка от производствения процес, започвайки от местоположението на доставчиците. Събраните изображения на детайлите може да бъдат сравнявани с хиляди други, съхранени в облак, за установяване на корелации и тенденции.

Производителите на смарт камери се стремят да поддържат гама от промишлени мрежови стандарти, използвани в автоматиката, така че продуктите им да са способни да комуникират по всички индустриални протоколи и в рамките на стандартни дискретни входно-изходни интерфейси. В наши дни фабричните протоколи могат директно да се интегрират в някои камери, но други протоколи като Ethernet/IP и PROFINET може да изискват конвертори на трети страни [1].

6. ТЕНДЕНЦИИ В СОФТУЕРА

Не по-малко важна от архитектурата на смарт камерите е и лекотата на употребата им, както и възможността за програмиране с цел изпълнение на конкретни задачи с необходимата скорост. Освен че тези камери се предлагат в разнообразни конфигурации от типове на видеопреобразуватели, процесори, входове, изходи и осветителни функции, производителите може да предоставят и продукти за реализиране на специфични задачи, като например прочитане на баркодове. По-старите смарт камери използват затворени софтуерни платформи, което означава, че на тях може да се разполагат само софтуерни продукти от същия производител. Този подход е в пряко противоречие с целите на модерната автоматика, която се стреми към персонализиране, гъвкавост и мащабируемост. Отварянето на платформата обаче предоставя възможност за максимално оползотворяване на производителността на камерата за техническо зрение при по-ниска цена [1].

Много системни интегратори търсят смарт камери, които имат възможности за изпълнение на разнообразни операции по обработка на изображения – например подобряване на изображението, локализиране на характеристики, измерване на обекти, откриване на наличие/отсъствие. В такъв случай програмистът е изправен пред няколко варианта. За удовлетворяване на подобни нужди много производители предлагат смарт камерите си със собствен софтуер и среда за разработка с графичен потребителски интерфейс. Макар употребата на такива камери да е ограничена само до фирмения софтуер, системният интегратор може да разчита на това, че производителят познава отблизо както камерата, така и соф-

туера за анализ и разпознаване на образи, който тя използва. Някои производители - особено онези с традиции в разработването на софтуер за техническо зрение - осъзнават появата на смарт камери от трети страни, подобни на предлагания от тях продукт. Вместо да пренебрегват тази възможност, много традиционни доставчици вече позволяват внедряването на софтуера им в продукти от трети страни. Предлаганите образни средства от по-малко реномираните производители често имат по-ограничена поддръжка, но благодарение на това отворено взаимодействие опитните системни интегратори могат да използват готови софтуерни пакети и камери от трети страни за разработване на най-ефикасното и ефективно решение за задачите си по техническо зрение [2].

В наши дни много компании осъзнават, че основното прочитане или проверка на целостта на данни от баркодове например трябва да бъде допълнено със системи и софтуер за наблюдение в реално време. Чрез внедряване на подобни мрежови системи ръководителите на заводи могат да установяват и класифицират всички грешки при четене и проверка, да визуализират данни за причините – например неизправен принтер за баркодове - и по този начин да увеличат дела на правилно прочетените кодове, да подобрят ефикасността на машините в продуктовата линия и да намалят загубите.



Фиг.3. : Системата Explorer RTM на Cognex може да интерпретира данни за изображения от четци на баркодове, за да осигури информация за работата им и по този начин – за състоянието на периферните устройства в индустриалната мрежа [3].

Компаниите с дълга история в производството на софтуер за техническо зрение разработват опростени потребителски интерфейси, използващи алгоритми за обработка на изображения, които в миналото са предлагани само като функции за езика С. По този начин системните разработчици не е необходимо да извършват сложно софтуерно програмиране и получават свобода да се съсредоточат върху конкретната задача за инспекция.

Докато много патентовани смарт камери са насочени към дейности като четене на баркодове, програмируемите устройства позволяват осъществяване на разно-

образни задачи от техническото зрение. Вместо да избират смарт камера от фирма, която произвежда както хардуера, така и софтуера, системните интегратори могат да избират камери на трети страни. Тъй като много от тях са базирани на процесори Intel или AMD, разработчиците могат да използват софтуера на производителите на смарт камери, както и такъв за компютърно базирани системи.

Редица производители на смарт камери поддържат също софтуерни пакети за техническо зрение от трети страни. Системите, използващи софтуерен интерфейс въз основа на поток от данни например, може да се програмират за различни задачи като калибриране на камерата, четене на баркодове, 1D и 2D измервания и съвпадение с еталон на клас.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стремежът към все по-голяма производителност и по-високо качество стимулира развитието на ново поколение усъвършенствани смарт камери за техническо зрение. Те комбинират високи резолюции и скорости, сравними със системите с ПК, без да наследяват недостатъците им, свързани с големи размери, топлоотделяне и енергийна консумация.

Важна тенденция в развитието на промишлените смарт камерите е увеличаването на бързодействието им чрез разделяне на изчислителните задачи между няколко обработващи елемента – най често централен процесор и програмируема логическа матрица.

Благодарение на вградените си микропроцесори и автономната си работа, смарт камерите са особено подходящи за включване в децентрализирани образни мрежи. Обработката на данни чрез разпределени алгоритми има сериозни предимства пред централизирания подход, тъй като не налага предаване на големите количества информация, получена при изпълнение на дейностите по техническо зрение.

Развитието в електрониката като цяло способства и за създаване на все по-малки смарт камери. Продължава успешното им внедряване в много промишлени отрасли, където пространството е ограничено от други машини или е необходимо вграждането им в по-малки устройства, като например мобилни и специализирани работи.

„Умните“ фабрики, концептуализирани от четвъртата индустриална революция, налагат изисквания за свързаност, автономност и взаимодействие между всички устройства, участващи в технологичния процес. Смарт камерите за техническо зрение играят изключително важна роля в реализирането на тази постановка и способстват вземането на самостоятелни решения без участие на човека.

Системните разработчици, целящи внедряване на смарт камери в производствените си съоръжения, разполагат с няколко различни опции: избор на специализирани устройства с фиксирани функции, програмируеми камери от традиционно установени производители на хардуер и софтуер или камери с отворен код от по-малко реномирани производители. Тук може би по-съществено значение от съотношението цена-производителност имат функционалностите и нивата на софтуерна поддръжка, предлагани от всеки производител.

Много компании възприемат подхода за предоставяне на софтуерни инструменти за конфигуриране на произведените от тях камери, вкл. създаване на потребителски алгоритми, чрез лесен за използване интерфейс, което намалява нуждата от конвенционално програмиране.

Макар че към настоящия момент съществуват различни мнения относно справянето с предизвикателствата, наложени от автоматиката, всички се обединяват около факта, че смарт камерите за техническо зрение играят решаваща роля в цялостното ѝ развитие и практическо осъществяване.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Fulvio Pozzalini, Fast-Evolving Smart Cameras are Transforming Machine Vision 01.07.2018

<https://www.qualitymag.com/articles/94806-fast-evolving-smart-cameras-are-transforming-machine-vision>

[2] Andy Wilson, Smart cameras challenge host-based systems in industrial applications, September 12, 2017

<https://www.vision-systems.com/articles/print/volume-22/issue-8/features/smart-cameras-challenge-host-based-systems-in-industrial-applications.html>

[3] Bernhard Rinner, Wayne Wolf, An Introduction to Distributed Smart Cameras, Proceedings of the IEEE Vol. 96, No. 10, October 2008

[4] Bart van Dam, Industrial Vision: seeing is believing

<https://cellro.com/en/knowledgebase/industrial-vision/>

[5] Bernhard Rinner, Wayne Wolf, A Bright Future for Distributed Smart Cameras, Proceedings of the IEEE Vol. 96, No. 10, October 2008

[6] Smart Cameras: Great Things Come in Small Packages, Quality Magazine, December 1, 2017

<https://www.qualitymag.com/articles/94388-smart-cameras-great-things-come-in-small-packages>

[7] Fanuc introduces laser guided smart welding camera, Robotics Update, March 13, 2018, <http://www.roboticsupdate.com/2018/03/fanuc-introduces-laser-guided-smart-welding-camera/>

Автор: Данаил Славов, ас. инж., катедра Автоматизация на електрозадвижванията; Факултет Автоматика, Технически Университет-София; E-mail address: d.slavov@tu-sofia.bg

Постъпила на 08.04.2019 г.

Рецензент: доц. д-р Пенчо Венков