نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

مروری بر کاربردهای مختلف سیستم‌های ماشین بینایی در فرآیند کنترل کیفیت بطری‌های شیشه‌ای

حسین شعبان نیائی[1*] و جعفر امیری پریان[2]

۱ و ۲ – به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا

ایمیل مکاتبه کننده: h.shabanniae92@basu.ac.ir

چکیده

این مقاله مطالعه‌ای بر روش‌های مختلف پردازش تصویر دیجیتال بکار رفته در زمینه‌ی کنترل کیفیت بطری‌های شیشه‌ای می‌باشد. ظروف شیشه‌ای به دلیل امکان بازیافت به دفعات بالا و سالم بودن نسبت به سایر بسته‌بندی‌ها به صورت گسترده-ای جهت بسته‌بندی مواد غذایی، نوشیدنی‌ها، مواد شیمیایی و داروها بکار می‌روند. وجود آلودگی و نقص در بطری‌ها باعث بروز مشکلاتی در خط تولید و در نتیجه تحمیل خسارات مالی به شرکت‌های تولیدی می‌شود. لذا انجام فرآیند بازرسی قبل از پر شدن بطری‌ها ضروری می‌باشد. میزان دقت و راندمان کار انسان تا حد زیادی تحت تاثیر شرایط جسمی و روحی او قرار دارد، لذا نتیجه‌ی فرآیند بازرسی توسط انسان از قابلیت اطمینان کافی برخوردار نیست. در دهه‌های اخیر یافتن جایگزینی برای انسان جهت انجام امر بازرسی مورد توجه بوده است. بهره‌مندی از علوم جدید می‌تواند راه‌حل های نوینی را جهت یافتن جایگزینی مناسب برای انسان در زمینه‌ی کنترل کیفیت بطری‌های شیشه‌ای در اختیار ما قرار بدهد.

واژه‌های کلیدی: بطری شیشه‌ای، پردازش تصویر دیجیتال، کنترل کیفیت، ماشین بینایی.

مقدمه

از آنجاییکه استفاده از ظروف شیشه‌ای برای مصرف و نگهداری مواد خوراکی، در مقایسه با ظروف دیگر مانند ظروف پلاستیکی و فلزی به خاطر عدم واکنش با مواد غذایی از سلامت بیشتری برخوردار بوده و نیز قابلیت بازیافت بدون کاهش کیفیت به دفعات زیادی را دارند، هنوز هم بخش وسیعی از تولیدات غذایی، نوشیدنی‌ها، مواد شیمیایی و داروها برای عرضه به بازار مصرف در ظروف و بطری‌های شیشه‌ای بسته‌بندی می‌شوند (لی‌یو، ۲۰۱۳). استفاده مجدد از بطری‌های شیشه‌ای در صنایع تولیدی و بسته‌بندی مواد خوراکی در دنیا امری است پذیرفته شده و در حال حاضر این کار به صورت گسترده‌ای انجام می‌شود. بطری‌های تولیدی و بطری‌هایی که مورد استفاده‌ی مجدد قرار می‌گیرند به خاطر وجود برخی نقص‌ها و آلودگی‌ها ممکن است پیامدهای منفی و خطرناکی را برای تولیدکنندگان و مصرف کنندگان در پی داشته باشند.

بطری‌های معیوب ممکن است در هنگام پر شدن تحت فشار و یا مرحله‌ی درپوش گذاری باعث بروز مشکلاتی از قبیل اتلاف محصول تولیدی، آسیب دیدن تجهیزات و در مواردی نیز توقف خط تولید بشوند (کانی‌وت و همکاران، ۱۹۹٤). لذا برای اطمینان از کیفیت محصولات نهایی لازم است قبل از استفاده از این بطری‌ها عمل شست‌وشو و بازرسی بر روی آنها انجام گیرد تا در صورت وجود نقص یا آلودگی بطری‌های معیوب از خط خارج شوند (دوآن و همکاران، ۲۰۰۷). فرآیند بازرسی در بخش کنترل کیفیت امری است بصری و ذهنی، لذا انجام این امور توسط انسان بسیار مشکل و خسته کننده خواهد بود (دوآن و همکاران، ۲۰۰۷). بازرسی بصری به عنوان یک وظیفه‌ی کنترل کیفیت تعریف می‌شود که با استفاده از داده‌های تصویری، محصولی که از یکسری مشخصات تعیین شده انحراف داشته باشد را تشخیص می‌دهد (مری و مدینا، ۲۰۰٤). کارایی و بهره‌وری افراد در حین انجام وظایف مربوط به بازرسی تا حد بسیار زیادی تحت تاثیر عوامل محیطی و شرایط روحی و جسمی بدن آنها قرار می‌گیرد. از این رو استفاده از نیروی انسانی برای انجام امور مربوط به بازرسی در فرآیند کنترل کیفیت نمی‌تواند بازده و اطمینان مناسبی را برای تولیدکنندگان تضمین بکند (ما و همکاران، ۲۰۰۲). امروزه وجود استانداردهای کمی و کیفی بالا در زمینه‌ی تولیدات صنعتی و غذایی از بعد تجاری بسیار حائز اهمیت بوده و شرایط اقتصادی یک کشور را تحت الشعاع قرار می‌دهد. در طول چند دهه‌ی اخیر مطالعات و آزمایشات گسترده‌ای در زمینه‌ی تشخیص، جداسازی و درجه‌بندی کمی و کیفی محصولات مختلف انجام شده است. در این خصوص فناوری‌های زیادی همچون مکانیک، الکترونیک، کامپیوتر و غیره به کمک هم آمده‌اند تا با بهره‌گیری از معیارهای مختلفی چون ابعاد هندسی، خواص آیرودینامیکی، شکل، وضعیت سطحی، رنگ و غیره، رسیدن به این مهم را آسان‌تر سازند. تاکنون چندین سیستم بازرسی برای کنترل کیفیت بطری‌های شیشه ای با روش‌های استخراج ویژگی‌ها و تکنیک‌های دسته‌بندی مختلف توسط پژوهشگران ارائه شده است. سیستم‌های بازرسی اتوماتیک بطری‌های شیشه‌ای شامل ماشین بینایی[1]، پردازش تصویر دیجیتال[2]، ابزار دقیق[3]، کنترل زمان واقعی[4] و غیره می‌باشند که برای رسیدن به هدف مورد نیاز با یکدیگر همکاری کامل دارند (ما و همکاران، ۲۰۰۹).

پردازش تصویر، دانش جدیدی است که سابقه‌ی آن به پس از اختراع رایانه‌ها باز می‌گردد. با این حال این علم نوپا در چند دهه‌ی اخیر از هر دو جنبه‌ی نظری و عملی پیشرفت‌های چشمگیری داشته است. سرعت این پیشرفت به اندازه‌ای بوده است که هم‌اکنون پس از این مدت نسبتا کوتاه، به راحتی می‌توان ردپای پردازش تصویر را در بسیاری از علوم و صنایع مشاهده نمود (گونزالس و وینتز، ۱۹۷۹). یکی از کاربردهای مهم پردازش تصویر، استفاده در سیستم‌های ماشین بینایی است. در این سیستم‌ها، حسگر بینایی (دوربین) جسمی را مشاهده می‌کند و بنا به نیاز، تحلیل مناسبی از آن انجام می‌دهد. به طور کلی تحلیل تصویر شامل دو حیطه‌ی رنگ و ویژگی‌های هندسی است (امیری پریان و همکاران، ۱۳۸٦).

مواد و روش‌ها

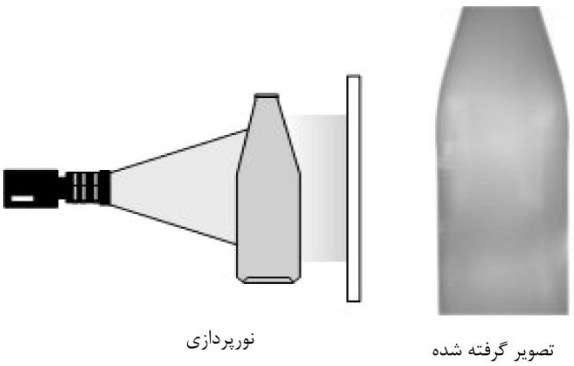
[1] . Machine Vision
[2] . Digital Image Processing
[3] . Precision Machine
[4] . Real time Control

سیستم‌های بازرسی در فرآیند کنترل کیفیت بطری‌های شیشه‌ای به طور کلی شامل دو مجموعه‌ی سخت افزاری و نرم افزاری می‌شوند. هرکدام از این مجموعه‌ها نیز به نوبه‌ی خود از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌اند.

مجموعه‌ی سخت افزاری

سامانه‌ی نورپردازی

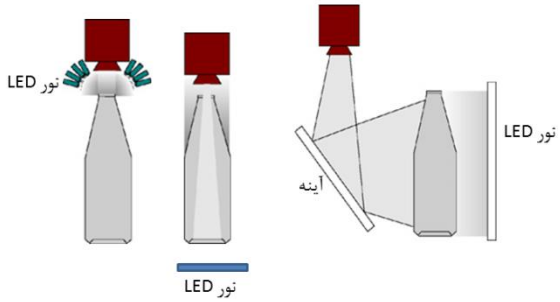
نورپردازی یکی از اصلی‌ترین قسمت‌های ماشین بینایی است. به دلیل عدم امکان استفاده‌ی همیشگی از نور طبیعی، ناچار به نورپردازی مصنوعی هستیم (امیری پریان و همکاران، ۱۳۸٦). استفاده از سیستم‌های نورپردازی خوب و مناسب می‌تواند به طور چشمگیری در کیفیت تصاویر دریافتی و ساده‌سازی الگوریتم‌های پردازش تاثیرگذار باشد (کوپاراپو، ۲۰۰٦). انواع نورپردازی در سیستم‌های ماشین بینایی عبارتند از نورپردازی پشتی[5]، نورپردازی جلویی[6]، نورپردازی چشمک‌زن[7] و نورپردازی ساختمانی[8] (امیری پریان و همکاران، ۱۳۸٦). هوآن جون لیو در سال ۲۰۱۳ از نورپردازی نوع پشتی برای تشخیص نقص در دیواره‌ی بطری‌های شیشه‌ای استفاده کرده است. او بطری‌ها را بین دوربین و منبع نور قرار داده است. در این صورت عیوب و لکه‌های موجود در بدنه‌ی بطری‌ها به وضوح قابل تشخیص است (شکل ۱). یکی از محاسن این نوع از نورپردازی امکان جداسازی راحت مرز اشیاء از پس زمینه می‌باشد.



شکل ۱– نوع نورپردازی در پژوهش هوآن‌جون لیو ۲۰۱۳ (لیو، ۲۰۱۳)

فنگ دوآن و همکاران در پژوهشی در سال ۲۰۰۷ برای بازرسی از دیواره، دهانه و ته بطری‌های شیشه‌ای از انواع مختلفی از نورپردازی‌ها استفاده کرده‌اند (شکل ۲). آنها برای قسمت بدنه و ته بطری از نورپردازی نوع پشتی و برای قسمت دهانه از نورپردازی نوع جلویی استفاده کرده‌اند. آنها LED[9] را به خاطر راندمان بالا، عملکرد عالی و سهولت در کنترل به عنوان منبع نور بکار برده‌اند.

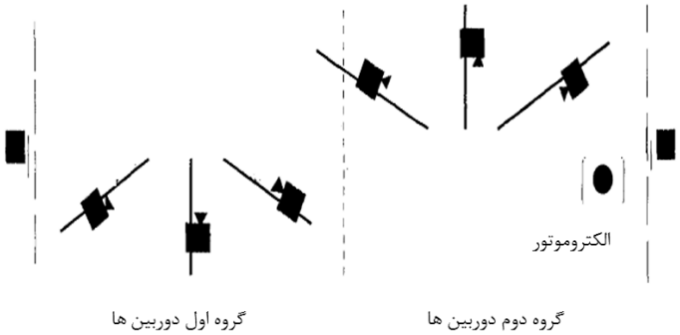
[5] . Back Lighting
[6] . Front Lighting
[7] . Strobe Lighting
[8] .Structured Lighting
[9] . Light Emitted Diode



شکل ۲– انواع نورپردازی در پژوهش فنگ دوآن و همکاران ۲۰۰۷ (دوآن و همکاران، ۲۰۰۷)

سیستم تصویربرداری

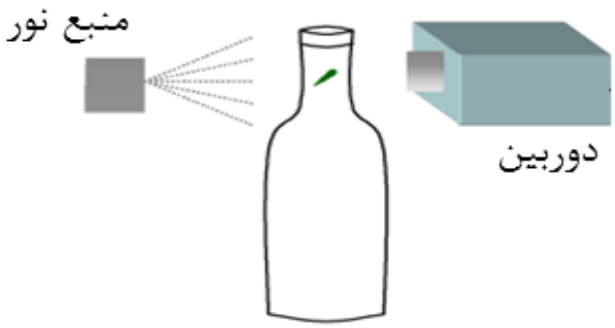
در بازرسی از بطری‌های شیشه‌ای دوربین‌های با تکنولوژی CCD[10] بیشترین کاربرد را دارند. تعداد دوربین‌های بکار رفته در پژوهش‌های مختلف متفاوت است. هویی مین ما و همکاران در سال ۲۰۰۲ از هشت دوربین برای بازرسی از دهانه و دیواره-ی بطری‌های شیشه‌ای استفاده کرده‌اند. آنها دوربین‌ها را در دو گروه چهارتایی بکار برده‌اند. در هر گروه یک دوربین مسئولیت تصویربرداری از دهانه و سه دوربین دیگر که با زاویه ٦۰ درجه نسبت به هم در کنار خط تولید تعبیه شده‌اند مسئولیت تصویر برداری ۱۸۰ درجه از دیواره بطری را بر عهده دارند. بطری‌ها بعد از عبور از جلو دوربین‌های گروه اول و قبل از رسیدن به میدان دید دوربین مسئول تصویربرداری از دهانه بطری در گروه دوم توسط یک الکتروموتر به اندازه ۹۰ درجه چرخانده می‌شدند. بنابراین تصویر دهانه که توسط گروه دوم دوربین‌ها گرفته می‌شد با تصویر گروه اول ۹۰ درجه اختلاف داشت. یعنی دهانه‌ی بطری‌ها دو مرتبه مورد بازرسی قرار می‌گرفت.



شکل ۳– سیستم تصویربرداری در پژوهش هویی‌مین ما و همکاران ۲۰۰۲ (ما و همکاران، ۲۰۰۲)

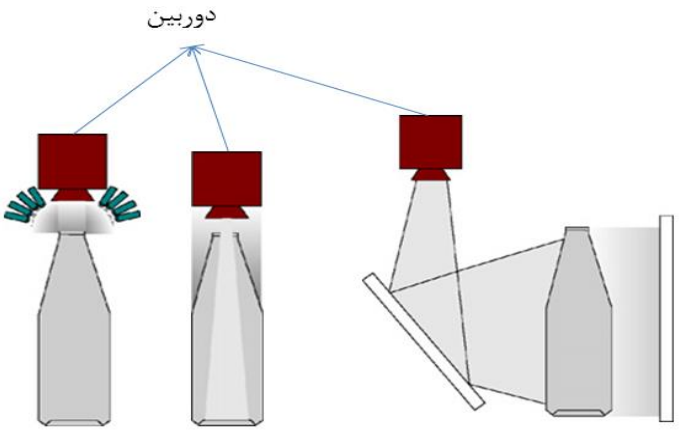
دومینگو مری و اولایا مدینا در سال ۲۰۰٤ برای بازرسی از قسمت بالای دیواره‌ی بطری‌ها فقط از یک دوربین استفاده کرده‌اند (شکل ٤).

[10] . Charged Coupled Device



شکل ٤- سیستم تصویربرداری در پژوهش دومینگو مری و اولایا مدینا ۲۰۰٤ (مری و مدینا، ۲۰۰٤)

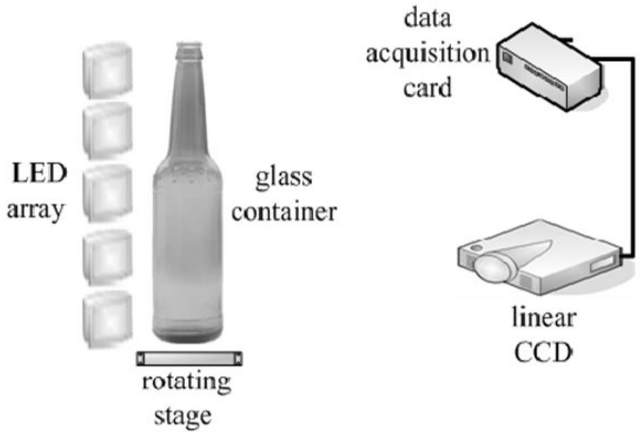
فنگ دوآن و همکاران در پژوهش خود در سال ۲۰۰۷ از سه دوربین برای بازرسی استفاده کرده‌اند (شکل ۵). به این ترتیب سیستم آنها سه تصویر از دهانه، دیواره و ته بطری‌ها دریافت و برای تشخیص نقص مورد پردازش قرار می‌داد.



شکل ۵- سیستم تصویربرداری در پژوهش فنگ دوآن و همکاران ۲۰۰۷ (دوآن و همکاران، ۲۰۰۷)

ون‌زهانگ بین و همکاران در سال ۲۰۱۱ در پژوهش خود جهت تشخیص بطری‌های معیوب از یک CCD خطی[11] برای اسکن ۳٦۰ درجه بدنه‌ی بطری‌ها استفاده کرده‌اند. بطری‌ها توسط یک پایه‌ی چرخان[12] حین حرکت از مقابل CCD خطی ۱۸۰ درجه چرخانده می‌شدند تا کل بدنه‌ی بطری‌ها تحت پوشش قرار بگیرند (شکل ٦).

[11] . Linear CCD
[12] . Rotating Stage



شکل ٦- سیستم تصویربرداری در پژوهش ون زهانگ‌بین و همکاران ۲۰۱۱ (زهانگ‌بین و همکاران، ۲۰۰۱)

ابعاد تصاویر دریافت شده توسط CCD خطی در پژوهش ایشان ۱۰۲٤*۱ بود. بعد از بازسازی اطلاعات تصاویر به کمک نرم افزار متلب مدل سه بعدی بطری‌ها بدست می‌آمد.

پردازشگر اطلاعات

جهت پردازش اطلاعات مربوط به تصاویر دریافتی از دوربین‌ها عمدتا از رایانه‌های صنعتی[13] به دلیل قدرت و سرعت بالا در امر پردازش اطلاعات استفاده می‌شود. تعداد رایانه‌های بکار رفته نیز با توجه به تعداد دوربین‌ها، تعداد تصاویر مربوط به هر بطری و حجم اطلاعات می‌تواند متغیر باشد.

سیستم بیرون‌انداز[14] بطری‌های معیوب

پس از دریافت تصاویر بطری‌ها توسط دوربین و پردازش اطلاعات مربوط به آنها به وسیله‌ی سیستم‌های پردازشگر، در صورت معیوب تشخیص داده شدن بطری سیستم بیرون انداز توسط سیگنال کنترلی[15] تحریک شده و بطری معیوب را از خط خارج می‌کند.

مجموعه‌ی نرم افزاری

نرم‌افزارها و الگوریتم‌های بکار رفته در سیستم بازرسی بطری‌های شیشه‌ای جزء مهمترین بخش‌های این سیستم محسوب می‌شوند. این بخش می‌تواند به میزان بسیار زیادی بر دقت، سرعت عمل و انعطاف‌پذیری سیستم تاثیر داشته باشد. وظایف الگوریتم‌ها در این سیستم عبارتند از تعیین ناحیه مورد توجه در تصاویر برای بازرسی، انجام عمل پیش پردازش، استخراج ویژگی‌های لازم از تصاویر، تصمیم‌گیری برای دسته بندی بطری‌ها در دو دسته‌ی سالم و معیوب و در نهایت کنترل سیستم بیرون‌انداز. هویی مین ما و همکاران در سال ۲۰۰۲ در پژوهش خود برای تشخیص نقص در دیواره‌ی بطری‌ها از توزیع سطح

[13] . Industrial PC
[14] . Ejector
[15] . Control Signal

خاکستری[16] پیکسل‌ها در تصاویر استفاده کرده‌اند. به این ترتیب که در صورت وجود نقص یکنواختی سطوح خاکستری پیکسل‌ها در تصویر دچار اختلال می‌شد و الگوریتم ارائه شده توسط آنها با تشخیص این اختلال نقص موجود در دیواره‌ی بطری‌ها را شناسایی می‌کرد. آنها همچنین برای بازرسی از دهانه‌ی بطری‌ها تصاویر دهانه‌ی بطری‌ها را که به صورت بیضی بودند به مختصات قطبی[17] تبدیل کرده‌اند. با این کار شکل بیضی در مختصات قطبی به یک خط راست تبدیل می‌شود. در صورت وجود نقص در دهانه‌ی بطری‌ها در این خط راست انحرافاتی بوجود می‌آید که زمینه‌ی تشخیص نقص را فراهم می‌کند (شکل ۷). آنها توانستند به سرعت بازرسی ۲۰۰ بطری در دقیقه دست پیدا کنند. همچنین الگوریتم آنها در تشخیص بطری‌های سالم ۲ ٪ و در تشخیص بطری‌های معیوب ۱,۹٦ ٪ خطا داشت.

شکل ۷– تصویر دهانه‌ی بطری به صورت بیضی و تبدیل آن به خط راست در مختصات قطبی در پژوهش هویی‌مین ما و همکاران ۲۰۰۲ (ما و همکاران، ۲۰۰۲)

یاونان وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۵ برای تشخیص نقص در دهانه‌ی بطری‌های شیشه‌ای الگوریتمی را ارائه کرده‌اند. الگوریتم آنها بعد از عمل پیش پردازش[18] و لبه یابی[19] بر روی تصاویر، دهانه‌ی بطری‌ها را به صورت دو دایره‌ی هم مرکز مشخص می‌کرد (شکل ۸).

شکل ۸– تصویر دهانه‌ی بطری در پژوهش یاونان وانگ و همکاران ۲۰۰۵ (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵)

16 . Gray Level
17 . Polar Coordinates
18 . Preprocessing
19 . Edge Detection

سپس با استفاده از قوانین حاکم بر شکل هندسی دایره نقاط موجود در روی حلقه از شعاع کوچک تا شعاع بزرگ را اسکن می‌کرد. پس از اسکن، میانگین سطوح خاکستری زاویه‌های مرکزی مختلف از ۰ تا ۳۵۹ درجه بدست می‌آمد. اگر دهانه‌ی بطری بدون عیب باشد، میانگین سطوح خاکستری در زاویه‌های مرکزی مختلف تغییرات کمی خواهد داشت و بطری به عنوان بطری سالم و بدون عیب تشخیص داده می‌شد. در غیر این صورت میانگین سطوح خاکستری در زوایای مرکزی مختلف دارای تغییرات ناگهانی و زیادی خواهد بود و بطری به عنوان یک بطری معیوب و دارای نقص شناسایی می‌شد. الگوریتم ارائه شده توسط ایشان توانایی بازرسی بطری‌ها را با دقت ۹۸٪ داشت.

نتیجه‌گیری

با توجه به نمونه‌های متفاوت اشاره شده برای کاربرد پردازش تصویر در کنترل کیفیت قسمت‌های مختلف بطری‌های شیشه‌ای مشاهده می‌شود که هرکدام از آنها دارای معایب و مزایایی می‌باشند. برای یک سیستم بازرسی ساختار سخت‌افزاری پیچیده، تعداد زیاد دوربین‌ها، الگوریتم‌هایی با محاسبات زیاد و زمان بر به خاطر افزایش هزینه‌های اولیه و هزینه‌های نگهداری و کاهش سرعت بازرسی نامطلوب محسوب می‌شوند. اما در عین حال این ویژگی‌ها می‌توانند به انطاف پذیری و جامعیت این سیستم‌ها برای تحت پوشش قرار دادن دامنه‌ی وسیعی از خطوط تولید و انواع مختلفی از بطری‌ها کمک کنند. به طور کلی سیستم‌هایی که بتوانند با ساختاری ساده و کم هزینه سرعت و دقت مناسبی برای کنترل کیفیت ارائه بدهند از مقبولیت بیشتری برخوردار بوده و می‌توانند موفق‌تر ظاهر بشوند.

منابع و مآخذ

۱. امیری پریان، ج. خوش تقاضا، م.ه. مینایی، س. و کبیر، ا.ا. ۱۳۸٦. بررسی روش‌های مختلف تعیین حجم محصولات کشاورزی به کمک پردازش تصویر. مجموعه مقالات سومین کنفرانس دانشجویی مهندسی ماشین‌های کشاورزی.

2. Canivet, M., Zhang, R.D. & Jourlin, M. 1994. Finish Inspection by Vision for Glass Production. Conference Machine Vision Applications in Industrial Inspection. Vol 2183.

3. Duan, F., Wang, Y.N., Liu, H.J. & Li, Y.G. 2007. A Machine Vision Inspector for Beer Bottle. Engineering Applications of Artificial Intelligence. Vol 20, 1013-1021.

4. Gonzalez, R.C. & Wintz, P. 1979. Digital Image Processing. Addision-Wesley Publishing Company.

5. Kopparapu, S.K. 2006. Lighting Design for Machine Vision Application. Image and Vision Computing. Vol 24, 720-726.

6. Liu, H. 2013. Glass Product Defect Detection Method Based on Machine Vision. Sensors & Transducers. Vol 25, 85-90.

7. Mery, D. & Medina, O. 2004. Automated Visual Inspection of Glass Bottles Using Adapted Median Filtering. Computer Science. Vol 3212, 818-825.

8. Ma, H.M., Su, G.D., Wang, J.Y. & Ni, Z. 2002. A Glass Bottle Defect Detection System Without Touching. Proceedings of The First International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE, China, Vol 2, 628-632.

9. Ma, S., Huang, B., Wang, H. & Guo, J. 2009. Algorithm Research on Location of Bottle Mouth And Bottom in Intelligent Empty Bottle Inspection System. Proceedings of The IEEE International Conference on Automation And Logistics, China, 819-824.

10. Wang, Y.N., Liu, H.J. & Duan, F. 2005. A Bottle Finish Inspect Method Based on Fuzzy Support Vector Machines And Wavelet Transform. Proceedings of The Fourth International Conference on Machine Learning And Cybernetics, China, 4588-4592.
11. Zhang bin, W., Jia, G., Lijia, X., Yunhan, L. & Zhe, C. 2011. Fast Online Detection of Body Defect of Glass Containers. International Conference on Optical Instruments And Technology, China, Vol 8201.

A Review on Different Applications of Machine Vision Systems in the Quality Control Process of Glass Bottles

Abstract

This paper is study of the different methods of digital image processing used in quality control field for glass bottles. Glass containers and bottles, due to recycling possibility and healthy rather than other packages, widely uses for packaging food, beverages, chemicals and drugs. Pollution and defects existence on bottles makes some problems in production line and as a result, cause to loss production companies. So it is necessary to inspection the bottles before filling. the precision and the efficiency of human ability strongly depend on physical – mental conditions, so the result of inspection by human does not have enough reliability. In the last decades, finding a replacement for the human controlling has been considered. Using of the modern sciences can give us new solutions to find an appropriate replacement for human to control the quality of glass bottles.

Keywords: Glass Bottle, Digital Image Processing, Quality Control, Machine Vision.

.