

Procesamiento de imágenes para la clasificación masiva de frutos basado en el color

D'Amato, Juan Pablo; García Bauza, Cristian; Vénere, Marcelo; Clause, Alejandro

Universidad Nacional del Centro, CNEA-CICPBA-CONICET

Abstract

Generalmente la apariencia externa de la fruta, es uno de los factores primordiales para su evaluación. El color de la fruta es tomado en las empresas frutihortícolas como un estándar que determina su calidad, indicando maduración, salubridad, etc. Esto también se extiende al gusto de los consumidores, quienes son atraídos por la distribución uniforme del color en la superficie.

En el caso de las manzanas, el color determina también de qué tipo o variedad es la fruta (red delicious, granny smith, etc). Hoy en día la clasificación y los rangos de color aceptables para las distintas calidades de manzanas es realizada basándose en medidas empíricas dispuestas por expertos del ramo.

En este trabajo, presentamos un sistema mecánico-digital para la captura y clasificación de lotes de fruta por color en tiempo real; propuesto como incorporación a una línea de transporte de fruta, ensayado particularmente con distintas variedades de manzanas.

Se brinda una solución que emula el criterio del ojo humano en la clasificación de frutas. En base a imágenes de la línea de transporte, el algoritmo genera una salida indicando la calidad del objeto observado. Esta salida es usada para la manipulación de la maquinaria que distribuye los frutos en distintos empaques.

Palabras clave— clasificación de fruta, procesamiento de imágenes, espacio de colores

I. INTRODUCCIÓN

La clasificación de frutas por color, en muchas empresas empaquetadoras es aún un proceso artesanal. Incluir en las maquinarias de pesado automático, un sistema anexo de evaluación óptica es inaccesible para varias de estas empresas (comúnmente pequeñas y medianas) debido a los costos de reimplantación y modificación de las líneas de transporte que esto conlleva. Generalmente la solución que



Fig. 1: (Arriba) El proceso manual de clasificación de color y defectos. (Abajo) La línea de transporte con 4 líneas. Pueden verse los depósitos circulares a ambos costados.

se les brinda es desechar las máquinas de clasificación automática por peso cambiándolas por nuevos equipos que clasifiquen conjuntamente por peso y color.

Hoy en día, numerosas de estas empresas no pueden afrontar tales gastos y para suplir esta limitación, la etapa de clasificación por color se realiza manualmente con mesas de trabajo [Figura 1], donde los operarios clasifican el fruto por la experiencia ad-hoc que ellos mismos han adquirido; ubicando

las manzanas por su calidad en diferentes líneas.

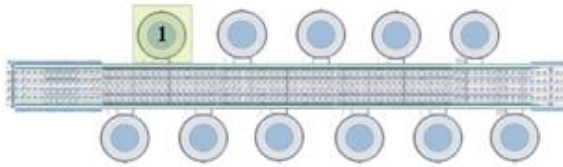


Fig. 2: Esquema de Vista en planta de una línea de transporte. A los costados se ubican los depósitos de frutos.

En los sistemas existentes, a lo largo de la cadena de transporte se ubican depósitos circulares en los que son derivadas las manzanas mediante un conjunto de bandejas móviles. Estos sistemas que ya automatizan la clasificación según el peso del fruto, trabajan de manera digital, y de acuerdo a una tabla de salidas lógicas, se define el depósito en el que debe caer la manzana, clasificándolas y dejándolas listas para ser empaquetadas. Por ejemplo, se determina que en el depósito 1, caerán todos los frutos cuyo peso se encuentre dentro del rango 90gr-105gr. [Figura 2]

Para incorporar el sistema de clasificación por color, debe modificarse la línea de transporte existente, anexándose un nuevo módulo mecánico-digital.

II. EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

El prototipo desarrollado es un modelo a escala de una máquina industrial de varias líneas. Estas líneas se conforman de rodillos por los que se transporta la fruta. Los rodillos son controladas por dos motores, uno de movimiento de rotación y otro de traslación, pudiendo armar así distintas configuraciones de máquinas, cargas y lotes de procesado.

El prototipo consta de una caja con iluminación interior controlada que contiene una cámara de video. Este sistema guarda ciertas similitudes con el presentado en [1].

Un mecanismo de rotación y traslación de rodillos asegura que toda la superficie de la manzana sea filmada. Así es posible tomar varias imágenes de cada fruto y seleccionar las que sean de utilidad.

El video se captura de forma continua, a una velocidad de 30 fps y cada cierto intervalo de tiempo se seleccionan los frames a ser analizados. Se usó una cámara Samsung SCD 364 que permite capturar videos a una resolución de 720*480 píxeles. El sistema de iluminación permite generar un ambiente controlado y uniforme, que no genera brillos indeseados y minimiza la entrada de luz del exterior. La cámara se encuentra conectada a una PC estándar mediante una conexión de video IEEE1384. En la [Figura 3] se muestra un esquema y una vista del prototipo.



Fig.3: (Izq.) Captura desde adentro de la caja de ambiente controlado mostrando tres líneas. (Der.) Esquema del prototipo montado. (Abajo) Prototipo implementado de pruebas

A fin de obtener las imágenes requeridas para la clasificación, es necesario determinar adecuadamente en qué momento y lugar se encuentra una manzana. Para

esto, se propone dividir la imagen en un conjunto de celdas [Figura 4] y se asocia el tiempo de esa captura. Se exige que la celda coincida con el área central del fruto, lo que es análogo a que concuerde con el espacio entre rodillos.

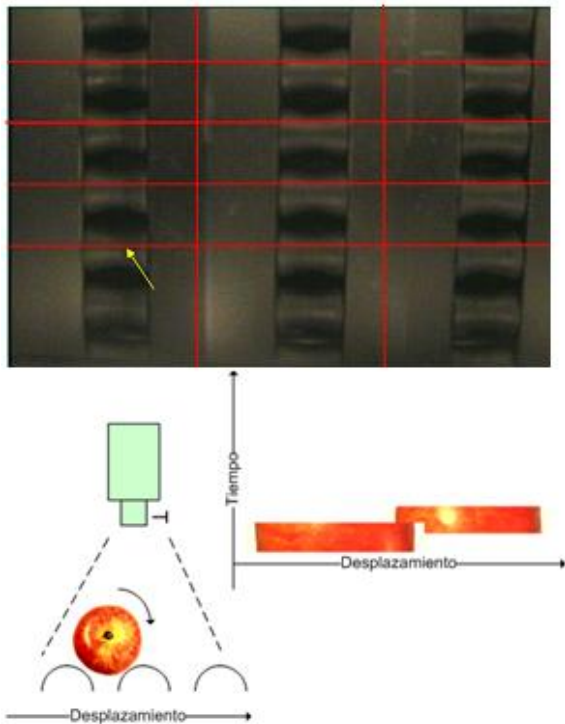


Fig. 4: (Arriba) imagen Seccionada en celdas, (Abajo, Izq.) Disposición del sistema óptico; (Abajo, Der.) Comportamiento de la imagen en el tiempo desde el punto de vista de la cámara.

Para que el centro del fruto coincida con el de la celda, se requiere un tiempo inicial de sincronizado. Si llamamos t_0 a este tiempo inicial de sincronizado, la manzana se encontrará en los instantes $t_0 + n \cdot it$ en la n -ésima celda. El parámetro it es el paso de tiempo entre captura y captura. Obviamente, si la velocidad de trabajo varía se debe recalcular it .

Las celdas que contienen frutas se marcan como activas y se les asocia un identificador único. De esta manera se tiene identificada unívocamente a cada manzana y es posible capturar y asignar un conjunto de 4 o 5 imágenes al mismo fruto en distintos instantes de tiempo.

El software de adquisición y procesamiento de imágenes, denominado *SIIF*, compuesto por la interfaz de usuario y los algoritmos de clasificación de imagen ha sido desarrollado en el entorno Borland Delphi bajo Windows XP, utilizando una máquina de escritorio con características básicas.

La adquisición de las imágenes está sincronizada con un temporizador que asegura que se cubre toda la superficie del fruto con las imágenes obtenidas desde el video capturado. Cuantas más imágenes se obtienen menor es la pérdida de información. Mediante una serie de ensayos se estimó que bastan entre 3 y 5 capturas para cubrir con imágenes toda la superficie de cada fruta.

Si un fruto ya tiene asociado la cantidad de imágenes necesarias, se ejecuta el algoritmo de clasificación, para determinar la calidad de la fruta, y se almacena en el registro correspondiente, en una estructura como la [Tabla 1].

A continuación se detalla el pseudo-código del algoritmo de clasificación por cada nueva imagen obtenida, en un tiempo cualquiera TN :

```
-- Se verifica la condición de coincidencia
con la celda
    Si no es frame_Valido(TN) entonces
        Abandonar_función();
    Sino
        --Se detecta si entro un nuevo fruto en
        la línea
        Para todas las líneas L
            Si detecta_Nuevo_Fruto (L) entonces
                añadirCeldaActiva ( L );
        --Se recorre las celdas de la matriz activas,
        aquellas que contienen un fruto
        --Guardo en la celda la sección del video que le
        corresponde
        Para todas las celdas activas CA
            CA .añadirFrame ( CA.RegionVideo);
            CA.desplazar_region();
        Si CA.Nro_Frames = Max_Frames entonces
            CA.Calidad = Calcular_Calidad();
        GuardarResultado(CA)
        Liberar(CA)
```

#Frame Video	Salida Línea 1	Salida Línea 2	Salida Línea 3
335	-	-	-
336	-	1	-
337	1	-	1
338	1	-	-
339	-	3	-
340	1	-	-

Tabla N° 1: Asociación de un registro en memoria con un conjunto de imágenes y una salida

A. Sincronización

El valor calculado *it* depende del grado de carga y velocidad de la línea, ya que la velocidad de los rodillos no es constante en el tiempo. Los rodillos sufren un desplazamiento en el tiempo, producto de alguna variación en la potencia de la máquina, o de un mayor grado de carga.

De antemano se conoce cómo es la imagen y que el fruto se encuentra en el espacio entre rodillos [Figura 5.a]. Si extraemos el perfil de los rodillos en una línea, la lectura horizontal de intensidades de los píxeles centrales de la imagen, se obtiene una distribución como la [Figura 5.b]. Aunque no son histogramas ideales, (producto de la baja calidad del video y del movimiento), es posible distinguir un intervalo de *picos* y *valles* de intensidad de luz (indicados con color celeste en la [Figura 5.b]).

Tomando una serie de perfiles sucesivos con el tiempo asociado, se calcula la velocidad de desplazamiento y el tiempo requerido para que la cinta cubra la distancia entre celdas. Si se requiere resincronizar el sistema, debe dejarse un lapso neutro, donde se analice la imagen libre de frutos que alteren los histogramas.

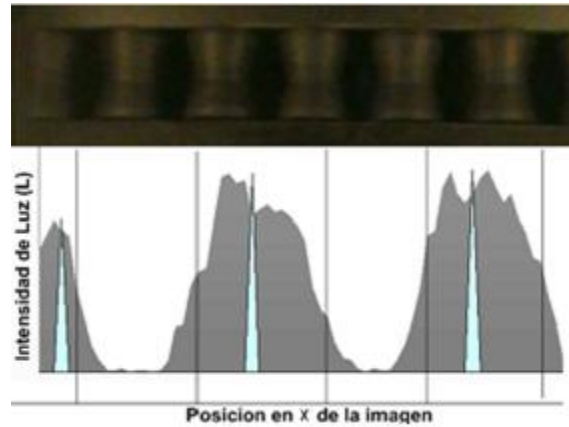


Fig. 5: (5.a Arriba) Corte longitudinal de la línea de transporte; (5.b Abajo.) Ejemplo de perfil de intensidades para una porción de 3 rodillos.

III. PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

La primera etapa del procesamiento es fusionar las imágenes de un mismo fruto alineadas (como si se estirara la cáscara sobre una superficie). De esa manera se obtiene una imagen exhaustiva del color de la fruta.

La segunda etapa comprende la segmentación de la imagen de la fruta con respecto al fondo de rodillos. Esta tarea se realizó aplicando filtros de umbralado y una transformación del espacio de colores RGB (*red, green, blue*) al espacio HSL (*hue, saturation, lightness*) [3].

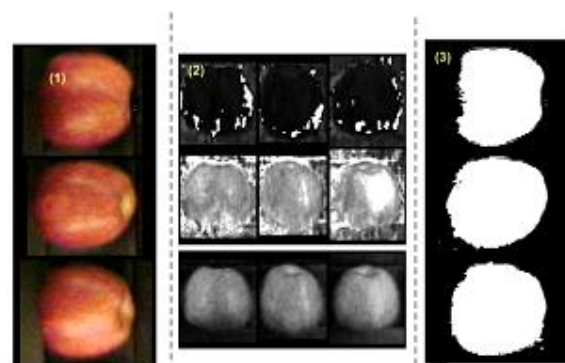


Fig. 6: (1) Captura de la imagen sobre la línea en tres instantes de tiempo, (2) Separación en canales HSL (3) Umbralado en base al canal L

Definiendo adecuadamente un *umbral* para los valores de iluminación (I) y saturación (S), es posible identificar rápidamente los píxeles que corresponden al fruto [4], como

se ve en la [Figura 6]. Los umbrales de segmentación se calculan como los valores máximos de I y S de una imagen de la línea sin manzanas.

Una vez identificados los píxeles correspondientes a la manzana, se procede a clasificarla en base a criterios de color. El indicador adecuado para este procedimiento es la cromaticidad (*Hue*). A partir de un trabajo heurístico con expertos frutícolas, se encontró que la calidad de las manzanas queda determinada por el histograma de cromaticidad. Más precisamente existe un rango de cromaticidad en el cual deben estar la mayoría de los píxeles, y existen rangos en los cuales debe haber pocos píxeles. Por ejemplo, una manzana *Red Delicious* de la mejor calidad (Clase 1) debe concentrar más del 90% de píxeles rojos. Estas técnicas de análisis basadas en la distribución de la cromaticidad también fueron estudiadas en [4] y [6]

El criterio de clasificación se implementó con tablas de doble entrada como la mostrada en [Tabla 2], donde se indican los intervalos de cromaticidad positivos y negativos para la variedad *Granny Smith*. Si un fruto no cumple ninguna de las características, se descarta.

Supongamos que se aplica el esquema presentado a una manzana *Granny Smith* como la mostrada en [Figura 7]. Se extrae la distribución de la cromaticidad y se verifica que el rango de cantidad de color verde-amarillento (rango 40-60 como indica la tabla del Intervalo 1) debe ser superior al 85%.

CALIDAD	40 < H < 60	60 < H < 120	0 < H < 35
1	>85%	<12%	<3%
2	>60%	<33%	<7%
3	>51%	<39%	<10%

Tabla N° 2: Intervalos de aceptación y su correspondiente calidad (*Granny Smith*)

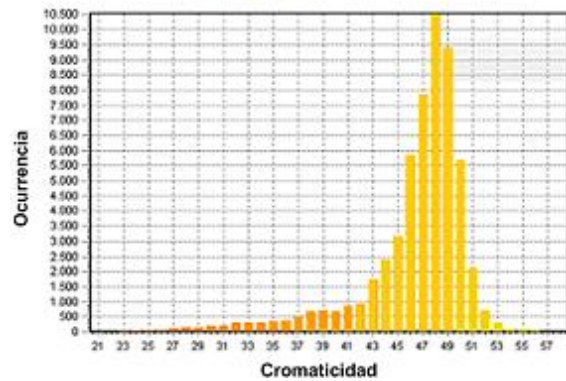


Fig. 7: (Arriba) Imagen de una manzana *Granny Smith*; (Abajo) Distribución de cromaticidad de la manzana

Aunque la fruta cumple esta regla para pertenecer a calidad de Clase 1; por la concentración del color de penalización *rojo-naranja intenso* (rango 0-35, Intervalo 3) en un porcentaje mayor al 7%, queda definida como *Clase 3*.

IV. ENTRENAMIENTO DEL SISTEMA

Aparte del módulo principal de clasificación, se desarrolló un módulo de entrenamiento. Este módulo se utiliza para preparar el algoritmo antes de la clasificación de los frutos. También sirve de soporte a usuarios inexpertos; y al mismo tiempo para facilitar la tarea de aquellos que son experimentados.

El procedimiento propuesto, consiste en seleccionar manualmente tres lotes, uno por cada calidad, con una cantidad de por lo menos 10 frutos representativos cada uno. A continuación, se inicializa el módulo de entrenamiento y se desplazan por la línea un lote por vez, indicándole al sistema a que calidad pertenece el lote. Al finalizar la carga, el sistema extrae la distribución acumulada de cromaticidad de cada calidad,

y genera automáticamente una tabla como la que se mostró en la [Tabla 2].

Dado que el sistema fue concebido para usuarios con distintos grados de experiencia, se permite generar este cuadro de dos formas diferentes.

1. El usuario define cuales son los porcentajes deseables de cromaticidad, con rangos de color ya preestablecidos, y el sistema calcula los intervalos de aceptación de cada calidad (para usuarios no expertos)
2. El usuario define manualmente los intervalos de cromaticidad y el sistema adopta las proporciones resultantes (para usuarios expertos).

Si bien se incorporan conceptos de aprendizaje, no se vio indispensable incluir Redes Neuronales como se propuso en [4] y [7].

Clasificación	Indicadores				
	#	Clasificación SIIF			
Experto			C1	C2	C3
1	72	52	10	10	72,2%
2	72	1	24	47	33,3%
3	72	0	12	60	83.3 %
Tot.	216	53	46	117	

Tabla N° 3: Porcentaje de acierto del sistema

V. RESULTADOS DE ENSAYOS DE PRUEBA

Se realizaron ensayos de validación con tres lotes de 72 frutos de una misma variedad de manzanas de distinta calidad.

Para validar el sistema, se capturó un video por cada una de las calidades y se obtuvieron las clasificaciones automáticas realizadas por el sistema. Comparando ambas clasificaciones, se generó una tabla de doble entrada como la que se muestra en [Tabla 3] para evaluar la eficiencia del algoritmo.

Los resultados muestran que la técnica funciona adecuadamente en los casos de 1ra Calidad y 3ra Calidad. En el caso intermedio existen diferencias entre los resultados de clasificación automática con la realizada manualmente. Esta diferencia, generalmente es natural y comprensible ya que en la calidad intermedia el humano clasifica la fruta de acuerdo a otros criterios subjetivos variables, los cuales no tienen tanta incidencia en la clase de mayor calidad (1ra) o en la peor (3ra).

VI. CONCLUSIONES

Se ha probado que el sistema desarrollado funciona eficientemente y los resultados manifiestan una clasificación apropiada, demostrando su aptitud para incluirse en una línea industrial de transporte de frutos.

Es importante destacar que el peor error que se podría cometer en este tipo de sistemas (clasificar una manzana de calidad 3 como calidad 1) tiene probabilidad muy cercana a cero en la solución propuesta [Tabla 3]. En los ensayos no hubo ningún caso erróneo de este tipo.

Adicionalmente se destaca que el esquema de colores utilizado funciona eficazmente ante cambios de intensidades de luz.

Entre los posibles trabajos futuros se encuentran algunas de las líneas actuales de investigación como la detección de defectos y Carpocapsa mediante la utilización de tomografías e imágenes de rayos X. Asimismo se está trabajando en reemplazar el actual sistema implementado totalmente en hardware (ya obsoleto) para la clasificación de peso, por una solución híbrida de software y PLCs.

VII. REFERENCIAS

- [1] CALPE J., PLA F., MONFORT J., DIAZ P., BOADA J.C., *Robust low-cost vision system for fruit grading*, 8th Mediterranean Electrotechnical Conference MELECON '96, (1996), 3, 1710-1713.

[2] CHANG W.H., HUANG P.Y., CHEN Y.Y., *Vision based fruit sorting system using measures of fuzziness and degree of matching*, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Humans, Information and Technology, (1994), 3, 2600-2604.

[3] KAY G., DE JAGER G., *A versatile colour system capable of fruit sorting and accurate object classification*, (1992), Proceedings of South African Symposium on Communications and Signal Processing (COMSIG '92), (1992), 145 -148.

[4] NAKANO K., *Application of neural networks to the color grading of*

apples, Computers and electronics in agriculture, (1997), 18, 105-116.

[5] PHILIPP I., RATH T., *Improving plant discrimination in image processing by use of different colour space transformation*, Computers and Electronics in Agriculture, (2002), 35, 1-15.

[6] SUDHAKARA RAO p., GOPAL A., REVATHY R., MEENAKSHI K., *Colour analysis of fruits using machine vision system for automatic sorting and grading*. J. Instrum. Soc. India 34 (4) 284-291

[7] Devrim UNAY, Bernard GOSSELIN, *Apple Defect Detection and Quality Classification with MLP-Neural Networks*, (2002)

Datos de Contacto

Juan Pablo D'Amato

email: jpdamato@exa.unicen.edu.ar

Cristian García Bauza

email: crgarcia@exa.unicen.edu.ar

Marcelo J. Vénere

email: venerem@exa.unicen.edu.ar

Alejandro Clausse

email: clausse@exa.unicen.edu.ar