

Resum

En la indústria alimentària, com en qualsevol altra indústria, la millora dels seus processos productius es un factor clau per a mantindre la seua competitivitat i incrementar els seus beneficis. Per a complir este objectiu és necessari incorporar nous mètodes que milloren la qualitat i eficiència d'aquests processos. A més, en els aliments actuals cada vegada hi ha una major distància entre el lloc de producció de l'aliment i el lloc on es consumix, augmentant les possibilitats de que es contamine o existisca una incertesa sobre el seu estat. Açò exigix sistemes de qualitat que puguen inspeccionar el 100% dels aliments d'una forma econòmica i no destructiva. En aquesta tesi es proposa utilitzar tècniques hiperespectrals i tridimensionals.

S'ha fet una revisió de l'estat de l'art de les diferents tècniques d'obtenció d'informació tridimensional, així com dels seus usos en la indústria alimentària. Basant-se en això, s'han seleccionat les tècniques basades en llum estructurada (SL), estèreo-visió i temps de vol (TOF) com les tècniques més apropiades. S'ha realitzat una comparativa entre SL i TOF per a la mesura en línia de producció de 3 aliments d'origen animal i 3 d'origen vegetal. D'aquest estudi es conclou que ambdós tècniques son vàlides tenint uns R^2CV mitjans de 0.85 el TOF i de 0.94 el SL per a estimar el volum de les mostres. Es va aprofundir en l'estudi de SL mitjançant la resolució del problema de segmentació d'arrels en tubèrculs. Es tracta d'un problema difícil de resoldre per tècniques clàssiques de visió per computador en 2D degut a que les arrels tenen un color molt paregut als tubèrculs. Aquest problema es va resoldre utilitzant un model Adaboost que va classificar els punts tridimensionals en arrels o punts de superfície basant-se en un vector de descriptors 3D. En aquest estudi, s'arribà a alcançar un percentatge d'encert del 94%. Altre problema resolt va ser la determinació de la compacitat de xanglots de raïm basant-se en descriptors 3D utilitzant tècniques d'estèreo visió. Es tracta d'un component de qualitat complicat d'estimar degut al problema de subjectivitat ja que actualment es realitza de forma manual per un grup d'experts seguint el descriptor de la OIV N^o204. El mètode semi-automàtic desenvolupat utilitza nous descriptors 3D i un model SVM, obtenint un R^2 en predicció de 0.8 per a 100 xanglots de 10 varietats diferents.

Per altre costat, s'ha desenvolupat una metodologia per a l'obtenció de resultats a partir d'imatges hiperespectrals. Aquesta metodologia s'ha aplicat en 3 casos pràctics de diferents aliments per a mesurar el seu frescor, entenent frescor com el grau de deteriorament dels aliments respecte a la qualitat inicial dels mateixos. El frescor actualment s'estima de manera analítica com una combinació d'una sèrie d'anàlisi físic-químics destructius. Mitjançant la captura d'imatges hiperespectrals en el rang SW-NIR es va estimar el frescor dels següents aliments en els seus envasos comercials amb distints tipus de processat: pits de pollastre filetejats, titot cuit, pernil cuit i salmó fumat. Es va començar amb l'aplicació bàsica de la metodologia desenvolupada en el titot i el pernil cuits on es conseguiren uns resultats mitjans de validació creuada de R^2 0.93 i de 0.9 respectivament utilitzant dos models PLSDA per a correlar el temps amb els espectres adquirits. El següent cas pràctic es va realitzar en pits de pollastre, on es va ampliar la metodologia bàsica efectuant una selecció de longituds d'onda mitjançant l'algoritme IPLSDA que va reduir de 54 a 13 les variables al mateix temps que va millorar els resultats dels models PLSDA per a estimar el frescor de R^2 CV 0.77 a 0.85. També es va estudiar l'influència del film en quant a l'anàlisi de frescor amb tècniques hiperespectrals, on es va concloure que aquest únicament atenua l'espectre sense afectar als resultats. En l'últim cas pràctic es va determinar si el salmó fumat estava caducat mitjançant imatges hiperespectrals. Aquest cas es va enfocar en la fase de segmentació espacial on es van obtenir els espectres del teixit magre i del teixit gras per separat. Per a això es va transformar l'imatge hiperespectral a una imatge 2D en RGB empleant un model calculat del sistema hiperespectral. Una vegada transformades a imatges 2D, es va segmentar l'imatge mitjançant un algoritme basat en segmentació per color. Es va obtenir un resultat de R^2 CV=0.83 amb la segmentació espacial proposada. En aquest estudi es va demostrar la necessitat de realitzar una bona segmentació espacial en els casos en que les mostres no són homogènies com es el cas dels diferents teixits del salmó.

La principal aportació de la tesi es la metodologia desenvolupada per a la combinació de tècniques 3D i hiperespectrals en el sector alimentari. El gran avantatge que s'aconsegueix amb aquests nous procediments es disposar d'una resolució espacial elevada mitjançant les tècniques 3D i una molt bona resolució espectral amb les tècniques hiperespectrals. En aquesta tesi es presenten dos de les moltes possibilitats d'unir ambdós tècniques. En la primera d'elles es va analitzar la informació tridimensional del procés de fermentació de masses de farina. Aquesta informació tridimensional es va emprar per a distingir entre farines suposadament iguals (segons els anàlisi realitzats en la indústria) que es van comportar de forma distinta durant la fermentació.

Mitjançant la metodologia desenvolupada que empra ambdós tècniques, es va aconseguir predir a partir de l'informació hiperespectral el comportament dinàmic que va tindre la mostra durant la fermentació. El coneixement d'aquest comportament és de gran interès ja que per exemple permet estalviar diners agrupant mostres amb temps similars de fermentació o seleccionant millor la matèria prima. El segon cas on es va investigar i desenrotllar aquesta conjunció de tècniques es va basar en aprofitar la gran resolució espacial obtinguda de les tècniques 3D. Concretament, es va utilitzar en la fase de segmentació espacial al processar imatges hiperespectrals de daurada. L'objectiu de la segmentació en base a l'informació tridimensional va ser obtenir l'informació espectral de zones específiques del peix com els ulls on es pot estimar millor el frescor. Els resultats de R^2 CV van ser de 0.844 al correlacionar els espectres obtinguts dels ulls amb el temps mitjançant un PLSDA.

El desenvolupament d'aquestes tècniques tindrà un gran impacte en la indústria agroalimentària en un futur pròxim, ja que suposa una clara innovació tecnològica respecte a realitzar anàlisis físic-químics destructius en un subconjunt de les mostres. Aquestes tècniques permeten realitzar el control de qualitat i de seguretat de totes les mostres de forma no destructiva millorant per tant la qualitat, rapidesa, seguretat, fiabilitat i cost dels diferents processos de la indústria alimentària.