

La tesi doctoral de Sebastià Massanet aprofundeix en l'aplicació de la lògica borrosa al processament d'imatges

La recerca *Contribucions a l'estudi de les implicacions borroses. Noves construccions i aplicacions a l'anàlisi d'imatges*, defensada a la UIB, aborda alguns dels problemes oberts sobre implicacions borroses, aprofundint en algunes de les línies de recerca de més actualitat en aquest camp de les ciències matemàtiques. La tesi ha estat guardonada amb el premi BioTIC GENIL al millor article d'un jove investigador al congrés ESTYLF 2012

Palma. Abril de 2012

La tesi doctoral de Sebastià Massanet Massanet, defensada a la Universitat de les Illes Balears, aborda diversos problemes oberts en el camp de les implicacions borroses i aprofundeix en algunes línies de recerca d'actualitat d'aquesta àrea en ascens de les ciències matemàtiques. La recerca *Contribucions a l'estudi de les implicacions borroses. Noves construccions i aplicacions a l'anàlisi d'imatges* analitza, en primer terme, les propietats teòriques de les funcions d'implicació i, després, aprofundeix en una de les aplicacions d'aquests operadors com és la morfologia



Sebastià Massanet, autor de la tesi doctoral. Foto: UIB

matemàtica borrosa, útil en el processament d'imatges. La tesi de Sebastià Massanet l'han dirigit els doctors Joan Torrens Sastre, catedràtic d'escola universitària de Ciències de la Computació i Intel·ligència Artificial, i el doctor Manuel González Hidalgo, titular d'universitat, ambdós professors del Departament de Ciències Matemàtiques i Informàtica de la UIB.

La recerca de Sebastià Massanet ha estat guardonada recentment al XVI Congrés Espanyol sobre Tecnologies i Lògica Fuzzy (ESTYLF 2012) amb el premi BioTIC GENIL al millor article d'un jove investigador pel treball «Caracterizaciones de las implicaciones f y g-generadas de Yager».

La lògica dels matisos

La lògica borrosa (o lògica *fuzzy*) parteix de les aportacions del matemàtic Lofti A. Zadeh (Bakú, Azerbaidjan, 1921), que l'any 1965 va publicar un article en el qual formulava matemàticament els principis d'aquesta tècnica que comporten el trencament de la rigidesa de la lògica clàssica, segons la qual quelcom només podia ser vertader o fals, però no totes dues coses a la vegada. D'aquesta manera, la lògica borrosa fa possible tenir en consideració els matisos intermedis, ja que permet establir una gradació. Així, aquesta tècnica permet representar i manipular informació incerta o imprecisa, la qual cosa és de gran utilitat en molts àmbits. De fet, en moltes situacions i problemes concrets s'ha comprovat que la utilització de la lògica borrosa dóna millors resultats que la lògica clàssica. Com a conseqüència, cada vegada és més habitual trobar noves



tecnologies que la incorporen en el seu funcionament: el control de posició d'un transbordador espacial; el sistema d'estacionament automàtic, el de frenada ABS o el canvi de marxes automàtic dels automòbils; o l'enfocament automàtic de les càmeres fotogràfiques.

En la lògica borrosa, les implicacions borroses són els operadors lògics que generalitzen la implicació binària clàssica i que han esdevingut una de les operacions més importants en la lògica borrosa. Això és perquè, a més de modelitzar els condicionals borrosos dels tipus «si p , aleshores q » on p i q són afirmacions borroses, també s'empren per dur a terme les inferències en qualsevol sistema basat en regles borroses a través del *modus ponens* (regla d'inferència que estableix que «si a llavors b ; a , per tant b ») i el *modus tollens* (regla d'inferència segons la qual «si a llavors b ; no a , per tant no b ») i s'apliquen en molts altres camps com són les equacions relacionals borroses i la morfologia matemàtica borrosa, les mesures borroses i la mineria de dades. Aquesta gran quantitat d'aplicacions només és possible gràcies a un estudi teòric previ que determina quines implicacions són adequades en un determinat context segons les propietats que s'exigeixen.

Fonaments teòrics

Així, la primera part de la tesi doctoral de Sebastià Massanet està enfocada als fonaments teòrics de les implicacions borroses. S'hi tracten i resolen alguns dels problemes oberts sobre implicacions borroses, aprofundint en algunes de les línies de recerca més candents actualment en aquest camp. En primer lloc, s'estudien algunes de les propietats que poden satisfer les implicacions borroses. En particular, es resol el problema obert plantejat sobre la relació entre el principi d'intercanvi i la llei d'importació, i es demostra que la segona propietat és estrictament més forta que la primera. També s'estudien per determinats tipus d'implicacions les anomenades equacions de distributivitat respecte a t -normes i t -conormes, útils per reduir la complexitat dels sistemes de regles borrosos.

D'altra banda, en la tesi es caracteritzen per primera vegada les implicacions f i g -generades de Yager i les seves conjugades, i s'obtenen caracteritzacions particulars de les implicacions de Reichenbach, Yager i Goguen. Les implicacions de Yager, introduïdes el 2004, han resultat interessants en raonament aproximat per les seves propietats i aplicacions en inferència. Aquestes caracteritzacions permeten determinar la intersecció d'aquest tipus d'implicacions amb les QL i D-implicacions. També es caracteritzen les (S,N) i R-implicacions, així com les seves generalitzacions a uninormes. Totes aquestes caracteritzacions estan basades en la llei d'importació.

Per acabar amb aquesta primera part, s'han introduït nous tipus d'implicacions borroses. Primer, seguint el mètode de generació de les implicacions de Yager, es proposen i caracteritzen nous tipus d'implicacions, anomenades (h,e) i h -implicacions, amb les seves versions generalitzades, a partir del generador additiu d'una uninorma representable. Aquestes implicacions s'obtenen a partir de dues implicacions de Yager mitjançant un escalat adequat en la segona variable. La generalització a implicacions qualssevol d'aquest procés permet obtenir un nou mètode de generació d'implicacions borroses a partir de dues de donades, anomenat e -generació horitzontal, que preserva, entre d'altres propietats, el principi d'intercanvi i la llei d'importació.

Processament d'imatges

La segona part de la tesi aprofundeix en l'aplicació de les implicacions borroses al processament d'imatges i, en particular, a la morfologia matemàtica borrosa. La morfologia matemàtica és una eina útil per al processament i anàlisi d'imatges, ja que permet extreure característiques d'aquestes com poden ser contorns, esquelets, formes i objectes. Les diferents morfologies

proposades fins ara estaven basades en implicacions i conjuncions en l'interval unitat. Aquest fet provocava una sèrie d'inconvenients en el seu ús. Aquests inconvenients són provocats pels processos de fuzzificació i desfuzzificació que consisteixen a transformar nombres enters entre 0 i 255 (corresponents als possibles valors de nivell de gris dels píxels d'una imatge) en valors dins l'interval unitat i viceversa, respectivament. Aquests processos, necessaris per poder aplicar els operadors en l'interval unitat a les imatges, comporten, com s'ha mostrat en la tesi, alguns errors numèrics computacionals que fan que no es verifiquin en la pràctica algunes de les propietats teòriques. També s'ha comprovat que els resultats depenen de la funció de fuzzificació escollida i que en certes aplicacions com en la detecció de contorns, les propietats teòriques indiquen unes determinades t-normes o uninormes en l'interval unitat com a òptimes per a aquesta tasca, mentre que en la pràctica altres conjuncions donen millors resultats.

Per resoldre aquests inconvenients, l'investigador proposa una nova morfologia matemàtica basada en t-normes i implicacions discretes. L'ús d'operadors discrets, definits en una cadena finita, permet aplicar els operadors morfològics directament a la imatge sense necessitat d'aplicar cap funció de fuzzificació. A continuació, es determinen quines t-normes i implicacions discretes s'han d'escollir per generar operadors morfològics que verifiquin les propietats algebraiques habituals d'una morfologia.

A partir d'aquesta morfologia, després de proporcionar una visió general de les seves aplicacions, es construeix un nou detector de contorns. Aquest detector de contorns sorgeix després d'analitzar el procés de transformació d'una imatge de contorns borrosos en una de binària amb amplitud un píxel amb mesures objectives de rendiment (vegeu la figura 1).

Les mesures objectives de rendiment determinen el grau de semblança de les imatges binàries de contorns obtingudes per un detector determinat amb les imatges binàries de contorns de referència que contenen els contorns reals de la imatge, segons el criteri de diverses persones. Finalment aquest detector es compara amb l'algoritme de Canny, l'algoritme de referència del camp, i s'obtenen resultats notables (vegeu la figura 2).

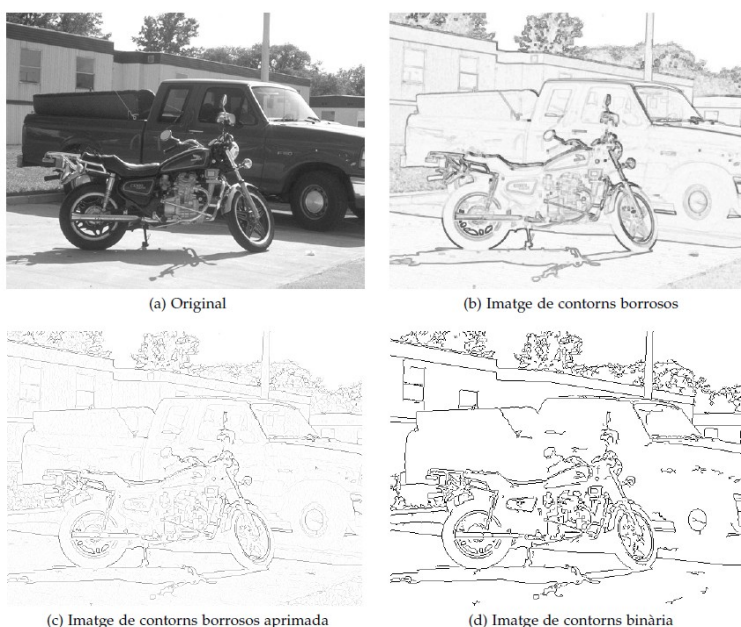


Figura 1: Transformació d'una imatge de contorns borrosos a una de binària amb els contorns d'un píxel d'amplitud.

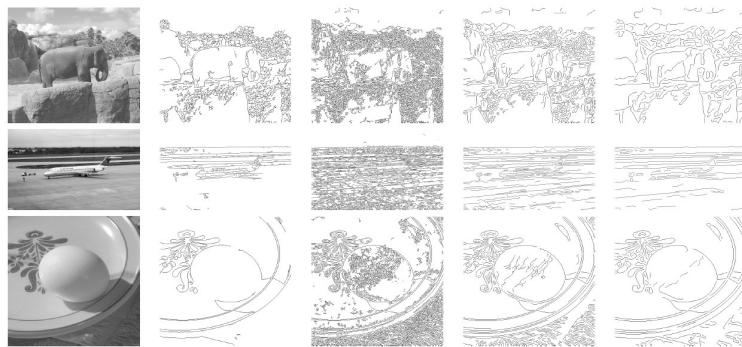


Figura 2: Comparació del detector de contorns basat en t-normes discretes (2a columna) amb els resultats obtinguts per l'algoritme de Canny per distints valors dels paràmetres.



Referència de la tesi

Títol: Contribucions a l'estudi de les implicacions borroses. Noves construccions i aplicacions a l'anàlisi d'imatges

Autor: Sebastià Massanet Massanet

Programa de doctorat: Matemàtiques

Àrea de coneixement: Ciències de la Computació i Intel·ligència Artificial

Departament: Ciències Matemàtiques i Informàtica

Directors: Joan Torrens Sastre i Manuel González Hidalgo

Qualificació: Excel·lent Cum Laude

Membres del tribunal

President

Dr. Enric Trillas Ruiz
Departament de Fonaments del Soft
Computing
European Center for Soft Computing

Vocals

Dr. Gaspar Mayor Forteza
Departament de Ciències Matemàtiques
i Informàtica
Universitat de les Illes Balears

Secretari

Dr. Arnau Mir Torres
Departament de Ciències Matemàtiques
i Informàtica
Universitat de les Illes Balears

Dra. Tomasa Calvo Sánchez
Departament de Ciències de la Computació
Universitat d'Alcalá de Henares

Dr. Humberto Bustince Sola
Departament d'Automàtica i Computació
Universitat Pública de Navarra

Publicacions relacionades

Articles en revistes indexades

S. Massanet, J. Torrens (2011). «The law of importation versus the Exchange principle on fuzzy implications». *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 168, pàg. 47-69, 2011.

S. Massanet, J. Torrens (2011). «On a new class of fuzzy implications: h-implications and generalizations». *Information Sciences*, vol. 181, pàg. 2111-2127.

S. Massanet, J. Torrens (2011). «Intersection of Yager's implications with QL and D-implications», *International Journal of Approximate Reasoning*, article en premsa. doi:10.1016/j.ijar.2011.11.001.

S. Massanet, J. Torrens (2012). «Threshold generation method of construction of a new implication from two given ones», *Fuzzy Sets and Systems*, article en premsa. doi: 10.1016/j.fss.2012.01.01.

S. Massanet, J. Torrens (2012). «On some properties of threshold generated implications». *Fuzzy Sets and Systems*, article en premsa. doi: 10.1016/j.fss.2012.01.018.

S. Massanet, J. Torrens (2012). «On the characterization of Yager's implications». *Information Sciences*, article en premsa. doi: 10.1016/j.ins.2012.03.00



Capítols de llibre

S. Massanet, J. Torrens (2010). «Some remarks on the solutions to the functional equation $I(x,y)=I(x,I(x,y))$ for D-operations», a *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Theory and Methods*, volume 80 of Communications in Computer and Information Science, pàg. 666-675. Springer Berlin Heidelberg.

M. González-Hidalgo, S. Massanet, J. Torrens (2010). «Discrete t-norms in a fuzzy mathematical morphology: algebraic properties and experimental results», a *Proceedings of WCCI-FUZZ-IEEE2010*, Barcelona, pàg. 1194-1201.

S. Massanet, J. Torrens (2011). «Implications generated from additive generators of representable uninorms: (h,e)-implications», a *Proceedings of the IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence*, FOCI, Paris, pàg. 29-36.

S. Massanet, J. Torrens (2011). «A new method of generating fuzzy implications from given ones», a *Proceedings of the 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT-2011) and LFA-2011*, vol. 17 of Advances in Intelligent Systems Research, pàg. 215-222. Atlantis Press.

M. González-Hidalgo, S. Massanet (2011). «Towards an objective Edge detection algorithm based on discrete t-norms», a *Proceedings of the 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT-2011) and LFA-2011*, vol.17 of Advances in Intelligent Systems Research, pàg. 319-326. Atlantis Press.

M. González-Hidalgo, S. Massanet (2011). «Closing and Opening based on discrete t-norms. Applications to natural image analysis», a *Proceedings of the 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT-2011) and LFA-2011*, vol. 17 of Advances in Intelligent Systems Research, pàg. 358-365. Atlantis Press.

S. Massanet, J. Torrens (2011). «Solutions of Equation $I(x,y)=I(x,I(x,y))$ for implications derived from uninorms», a *Fuzzy Logic and Applications - 9th International Workshop, WILF 2011*, vol. 6857 of Lecture Notes in Computer Science, pàg.1-8. Springer Berlin Heidelberg.

S. Massanet, J. Torrens (2011). «On e-vertical generated implications», a *Eurofuse 2011 – Workshop on Fuzzy Methods for Knowledge-Based Systems*, vol. 107 of Advances in Intelligent and Soft Computing, pàg.157-168. Springer Berlin Heidelberg.

M. González-Hidalgo, S. Massanet, A. Mir (2011). «Objective comparison of some edge detectors based on fuzzy morphologies», a *Eurofuse 2011 – Workshop on Fuzzy Methods for Knowledge-Based Systems*, vol. 107 of Advances in Intelligent and Soft Computing, p. 401-412. Springer Berlin Heidelberg.

M. González-Hidalgo, S. Massanet, A. Mir (2012). «Discrete t-norms in noisy image edge detection», a *Computation Vision and Medical Image Processing* – Tavares & Natal Jorge (eds), pàg. 167-172. Taylor & Francis Group, Londres.