

# Anàlisi, disseny i implementació d'un programari en C++ per a l'estudi de la connectivitat del paisatge modelitzat com a graf

Josep Torné i Llavall

Enginyeria en Informàtica

Projecte dirigit per: Joan Gimbert i Quintilla / Santiago Saura Martínez de Toda

Departament de Matemàtica / Departament d'Enginyeria Agroforestal

C/ Jaume II, 69, *Campus Capponet*, Lleida

E-mail: jtorne@alumnes.udl.cat

## Resum

L'objectiu principal del present Projecte Final de Carrera ha estat la realització d'una eina informàtica de suport per a l'estudi de la connectivitat del paisatge dins de l'àmbit de l'ecologia del paisatge forestal.

El resultat ha estat l'aplicació *Conefor Sensinode 2.0* desenvolupada en el marc del projecte CONEFOR (REN2003-01628) del Pla Nacional de I+D+I, del qual l'investigador principal és en *Santiago Saura* (Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida).

## 1. Introducció

Aquest Projecte Final de Carrera sorgeix de la col·laboració entre el Departament de Matemàtica i el Departament d'Enginyeria Agroforestal de la Universitat de Lleida. Dins del Departament d'Enginyeria Agroforestal el grup de recerca *Ordenació, inventari i anàlisi del paisatge forestal* es dedica a la investigació dels efectes produïts en els paisatges a causa de la intervenció de la mà de l'home o a causa de factors naturals que alteren les característiques pròpies de les zones forestals. Aquests estudis s'apliquen per a determinar quines són les condicions d'habitabilitat de diverses espècies animals i establir les connexions entre les diferents masses forestals que conformen el paisatge i que afavoreixen el desenvolupament d'aquestes espècies.

Hi ha diverses metodologies per a establir si una estructura del paisatge és la desitjable. En aquest Projecte Final de Carrera es tracta la metodologia de la *connectivitat del paisatge utilitzant la Teoria de Grafs*. Aquesta és una tècnica que valora les connexions que hi ha entre les diverses masses forestals d'una determinada zona o paisatge. La connectivitat d'un paisatge no és res més que la facilitat o dificultat que tenen les espècies animals per a desplaçar-se entre les diferents masses forestals. Aquesta connectivitat s'obté a partir de l'aplicació de funcions matemàtiques sobre el paisatge a avaluar que retornen com a resultat un índex anomenat *índex de connectivitat*.

El procés de càlcul dels índexs de connectivitat és un procés del tot automatizable per una eina informàtica o programari que s'encarregui de processar la informació que conté el paisatge. És aquí on es centra aquest projecte, en la realització d'una eina que permeti calcular els índexs de connectivitat d'un paisatge forestal.

## 2. La connectivitat del paisatge utilitzant la Teoria de Grafs

Un paisatge es divideix en diferents regions o elements que configuren unitats homogènies, diferents les unes de les altres que, per les seves característiques, es poden reconèixer a una determinada escala del paisatge. Uns dels elements principals que configuren *l'estructura del paisatge* són els següents:

- **Tessel·la:** És una porció de territori no lineal amb unes característiques homogènies en tot el seu conjunt i que difereixen del seu contorn



Fig. 1. Exemple de tessell·les en un paisatge

- **Corredor:** És un espai de terreny més o menys lineal amb unes característiques que difereixen de les zones adjacents que té ambdós costats.

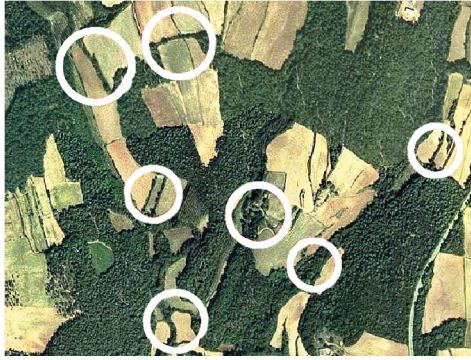


Fig. 2. Exemple de corredors en un paisatge.

Un graf  $G=(V,A)$  consta d'un conjunt de vèrtex  $V$ , i d'un conjunt d'arestes  $A$ , on cada aresta uneix exactament dos vèrtexs. Des d'un punt de vista ecològic, es pot considerar un vèrtex com a una *tessel·la* d'habitat d'una espècie determinada i, de la mateixa forma, es pot considerar una aresta com la *unió funcional* entre dues tessel·les que es trobin situades suficientment pròximes perquè una espècie pugui desplaçar-se d'una tessel·la a l'altra incident.

### 3. Els índexs de connectivitat

Per avaluar la connectivitat que té un terreny o paisatge, és necessari recórrer a funcions que parametritzin el paisatge a avaluar i que retornin com a resultat índexs de connectivitat que permetin classificar, distingir o descobrir qualitats del paisatge. Els índexs són una eina útil per poder conèixer l'estat d'un paisatge o tessel·la respecte a unes determinades variables.

L'anàlisi del paisatge modelitzat com a graf permet emprar operacions i algorismes propis de la Teoria de Grafs per a l'obtenció d'índexs de connectivitat. Aquestes operacions poden estar relacionades amb els vèrtexs, amb les arestes o amb tots dos: vèrtexs i arestes. Pel que fa als algorismes utilitzats de la Teoria de Grafs podem destacar l'*algorisme de Dijkstra* que permet trobar els *camins de pes mínim* des d'un vèrtex donat inicialment a tota la resta de vèrtexs del graf.

Aquest projecte inclou tant índexs definits i utilitzats en estudis prèvis (vegeu [7]) com nous índexs millorats desenvolupats en el marc del projecte CONEFOR (vegeu [4])

A part dels índexs, també es calculen els percentatges de variació respecte l'índex de connectivitat: les deltes. Els índexs de connectivitat donen una visió global de l'estat d'un paisatge però sense diferenciar quines són les tessel·les més rellevants o irrelevantes del paisatge. Les *deltes* ens serveixen per a conèixer el grau d'aportació que té cada tessel·la a l'índex de connectivitat calculat prèviament.

### 4. L'aplicació Conefor Sensinode 2.0

La primera aplicació informàtica que va aparèixer per a l'estudi del paisatge emprant eines de grafs va ser el programari *Sensinode*. Aquest estava inclòs dins del paquet

de programari *LandGraphs* que va desenvolupar el professor *Dean L. Urban* (Duke University). Pel fet que aquest programari estava desenvolupat arran d'uns estudis concrets, hi havia aspectes que no s'adeqüen als requeriments actuals i necessitaven ser actualitzats. L'aplicació *Conefor Sensinode 2.0* és una nova implementació de l'aplicació *Sensinode* que elimina, en gran mesura, les limitacions detectades i que converteixen l'antiga versió del programa *Sensinode* en una aplicació que no explotava al màxim les seves possibilitats.

Entre les característiques de millora que aporta l'aplicació *Conefor Sensinode 2.0* podem citar les següents:

- **Nombre il·limitat de tessel·les.** Aquesta característica indica que no hi ha cap element, com ara utilització d'arrays estàtics, que limiti el nombre de tessel·les que pot contenir un paisatge.
- **Càlcul de deltes afegint nous elements en el paisatge.** El càlcul dels percentatges de variació respecte als índexs de connectivitat es poden realitzar a partir de l'eliminació o addició de nous elements en el paisatge.
- **Emmagatzemament de resultats.** L'aplicació dóna la possibilitat de poder emmagatzemar els resultats en diferents formats de fitxer ja sigui en format de text Ascii (txt) o bé en format de base de dades (dbf).
- **Interfície d'usuari visual.** La implementació d'una interfície gràfica de l'aplicació permet una senzilla interacció amb l'usuari i una major facilitat en la configuració de l'execució.

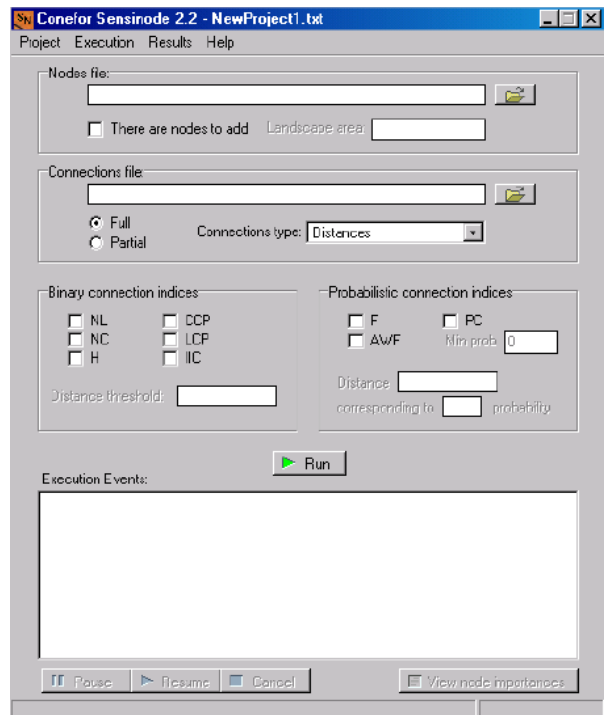


Fig. 3. Interfície del programa *Conefor Sensinode 2.0*.

## 5. Implementació

L'aplicació *Conefor Sensinode 2.0* s'ha implementat utilitzant l'entorn de desenvolupament d'aplicacions *Borland Builder C++ v6.0* i seguin el paradigma de la programació orientada a objectes.

El codi programat es pot diferenciar segons si la seva implementació s'ha destinat a la interfície gràfica i interacció amb l'usuari o bé, si la seva implementació s'ha destinat per a l'obtenció dels càlculs dels índexs de connectivitat. Aquestes dos vessants de la implementació es poden distingir fàcilment gràcies a l'encapsulació de la informació dels diferents elements implicats en *classes*. D'aquesta forma s'ha aconseguit separa d'una manera clara, d'una banda la interfície de l'aplicació i de l'altra la implementació dels índexs de connectivitat. Aquesta separació pot ser de gran utilitat si en un futur es volgués dur l'aplicació a altres plataformes.

La interacció amb l'usuari es basa en elements de formulari amb els quals aquest configura l'execució: indica el nom i on estan ubicats els fitxers d'entrada, defineix quins índexs desitja calcular i configura les diferents opcions de càlcul que permet l'aplicació. Les classes que conformen la interfície són la classe *TformPrin*, la classe *TaboutBox* i la classe *TformScreen*. També hi ha una altra classe que s'ha implementat i que s'ha inclòs a la interfície, aquesta és la classe *MyThread* que permet realitzar el processament del càlcul dels índexs de connectivitat en un procés a par del de l'aplicació.

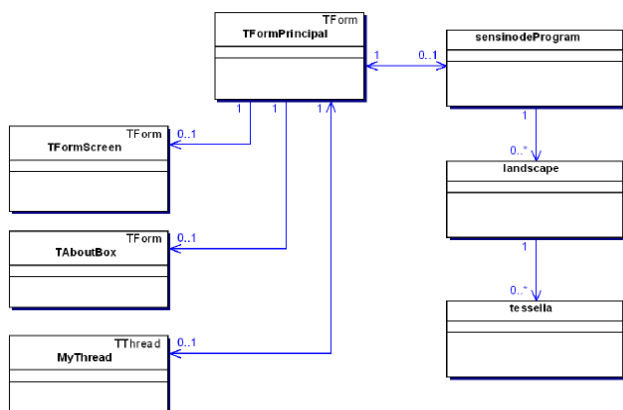


Fig. 4. Diagrama UML de les classes de l'aplicació

Les classes *landscape* i *tessella* modelitzen el paisatge i les tesselles respectivament. La classe *sensinodeProgram* s'encarrega de realitzar i controlar tot el procés de l'execució: llegeix i verifica els fitxers d'entrada, instància objectes de la classe *landscape* i inicia el processament del càlcul dels índexs de connectivitat.

## 6. Conclusions

Un dels objectius assolits, que mostra el progrés de l'aplicació, és l'ampliació del nombre de tesselles que pot contenir un paisatge. D'aquesta manera, l'únic límit existent per al càlcul dels índexs de connectivitat és el seu propi cost temporal.

La implementació orientada a objectes que s'ha emprat en el desenvolupament de l'aplicació permet una fàcil comprensió de les operacions utilitzades per al càlcul dels índexs de connectivitat. Aquest avantatge també es veurà reflectit en el moment que s'hagin d'incloure nous índexs de connectivitat que puguin sorgir en una recerca futura.

I per acabar, la inclusió d'una interfície gràfica d'usuari permet que aquest pugui introduir les dades d'una forma més clara i senzilla. Encara que aquest pugui semblar un aspecte secundari obté la seva rellevància en el moment en què l'aplicació esdevé l'eina bàsica de treball d'un usuari/investigador.

## Referències

- [1] Dieter Jungnickel D., *Graphs, Networks and Algorithms*. Springer, 1999.
- [2] Forman, R.T.T., *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, 1995.
- [3] Gimbert J., Moreno R., Ribó J. M., Valls M., *Apropament a la teoria de grafs i els seus algorismes*. Col·lecció Eines (UdL), 1998.
- [4] Pascual-Hortal, L., Saura, S., 2006a. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches for conservation. *Landscape Ecol*
- [5] Pascual-Hortal, L., Saura S. 2006b. Impact of spatial scale on the identification of critical habitat patches for the maintenance of landscape connectivity. *Landscape and Urban Planning*.
- [6] Taylor, P. D., Fahrig L, Henein K and Merriam G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 3:571-573.
- [7] Urban, D., Keitt, T., 2001. Landscape connectivity: A graph-theoretic perspective. *Ecology*. 82:1205-1218.

Altres referències:

- [8] Borland Software Corporation, *C++ Builder Help*. <http://www.borland.com>, 2002
- [9] Mapa cartogràfic de Catalunya. <http://www10.gencat.net/ptop/AppJava/cat/actuacions/territori/hipermapa.jsp> Ubicació de les imatges dels paisatges (x=488726 y=4658789)