

GENETICLAND: MODELLING LAND-USE CHANGE USING EVOLUTIONARY ALGORITHMS

J. Seixas, J.P. Nunes, P. Lourenço and J. Corte-Real

*Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal,
Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Física da Universidade de Évora, Portugal*

Ciele algoritmu GeneticLand

- Hlavným cieľom je predstaviť aplikáciu GeneticLand algoritmu a jeho využitie v modelovaní využitia pôdy v reálnom teréne.
- Ako GeneticLand algoritmus prispieva k plánovaniu využitia pôdy a jeho úlohou pri riešení environmentálnych problémov.
- Optimalizácia využitia pôdy: GeneticLand algoritmus umožňuje optimalizovať rozmiestnenie rôznych typov využitia pôdy v teréne s ohľadom na viaceré ciele.
- Predpovedanie dlhodobých zmien: Aplikácia GeneticLand algoritmu umožňuje predpovedať dlhodobé zmeny využitia pôdy a ich environmentálne dôsledky vzhľadom na rôzne faktory.
- Podpora rozhodovacích procesov: Vďaka schopnosti modelovať rôzne scenáre a ich dôsledky GeneticLand algoritmus poskytuje dôležitý vstup do rozhodovacích procesov týkajúcich sa plánovania využitia pôdy.

Metodika

- **Definovanie cieľov a obmedzení:** Najprv boli definované ciele modelovania, následne bola stanovená sada fyzikálnych a ekologických obmedzení
- **Reprezentácia priestoru:** Priestor bol reprezentovaný ako dvojrozmerné pole buniek, kde každá bunka predstavuje určitú oblasť v teréne a má priradený určitý typ využitia pôdy.
- **Inicializácia populácie:** Bola vytvorená počiatočná populácia jedincov, ktorá predstavovala možné rozloženie využitia pôdy v teréne. Táto populácia bola inicializovaná náhodne.
- **Evolučný proces:** Následne bol spustený evolučný proces, behom ktorého boli jedinci v populácii opakovane modifikovaný pomocou genetických operátorov, ako sú mutácie a kríženia. Noví jedinci boli vyhodnotený podľa definovaných cieľov a obmedzení.
- **Selekcia a reprodukcia:** Jedinci s lepšími vlastnosťami, ktorý lepšie splňovali stanovené ciele mali väčšiu šancu byť vybraní pre reprodukciu a tvorbu novej generácie jedincov.
- **Iteratívny proces:** celý proces evolúcie prebiehal iteratívne, dokým nebolo dosiahnuté určeného počtu generácií alebo nebol dosiahnutý požadovaný stav konvergenie, kedy sa žiadne ďalšie zlepšenie nenachádzalo.

Objektívne funkcie

- Algoritmus GeneticLand sa zameriava na dva hlavné ciele: minimalizáciu erózie pôdy a maximalizáciu ukladania uhlíka.
- Algoritmus využíva Universal Soil Loss Equation (USLE) na overenie krajinárskeho riešenia, pričom zohľadňuje faktory ako intenzita zrážok, dĺžka svahu, erodovateľnosť pôdy a účinnosť manažmentu plodín.
- Každé krajinárske riešenie je posúdené na základe jeho dlhodobej priemernej ročnej straty pôdy, pričom optimálne riešenie minimalizuje celkovú eróziu pôdy a udržiava lokálne hodnoty erózie pod riaditeľnou hranicou.
- GeneticLand umožňuje generovanie krajinárskych konfigurácií s ohľadom na súčasné klimatické vplyvy a budúce klimatické scenáre, pričom zohľadňuje zmeny v faktoroch ako intenzita zrážok.
- Cieľom algoritmu je maximalizovať celkové krajinárske ukladanie uhlíka násobením každého krajinárskeho riešenia priemernými ukazovateľmi ukladania uhlíka pre jednotlivé druhy pôd, pričom koeficienty sa menia podľa súčasných a budúcich koncentrácií CO₂ v atmosfére.

Obmedzenia

- GeneticLand algoritmus priradzuje triedy pokrytia pôdy v budúcej krajine podľa dvoch typov obmedzení: fyzických obmedzení týkajúcich sa geomorfologických premenných a ekologických indexov krajiny.
- Fyzické obmedzenia sú odvodené z analýzy máp pokrytia pôdy vzhľadom na distribúciu tried pokrytia pôdy v porovnaní s tromi premennými: typom pôdy, sklonom, indexom sucha a vlhkosťou pôdy na vrcholoch.
- Zahrnutie scenárov zmeny klímy do modelovania využitia pôdy sa zohľadnilo v implementácii obmedzení, najmä v indexe sucha.
- Obmedzenia ekológie krajiny slúžia na zabezpečenie priestorovej koherentnosti krajiny a zahŕňajú indexy veľkosti parciel a kontagiózný index.
- Kontagiózný index meria pravdepodobnosť "susednosti" buniek rovnakého typu využitia pôdy a meria stupeň rozptýlenia alebo agregácie prvkov krajiny.

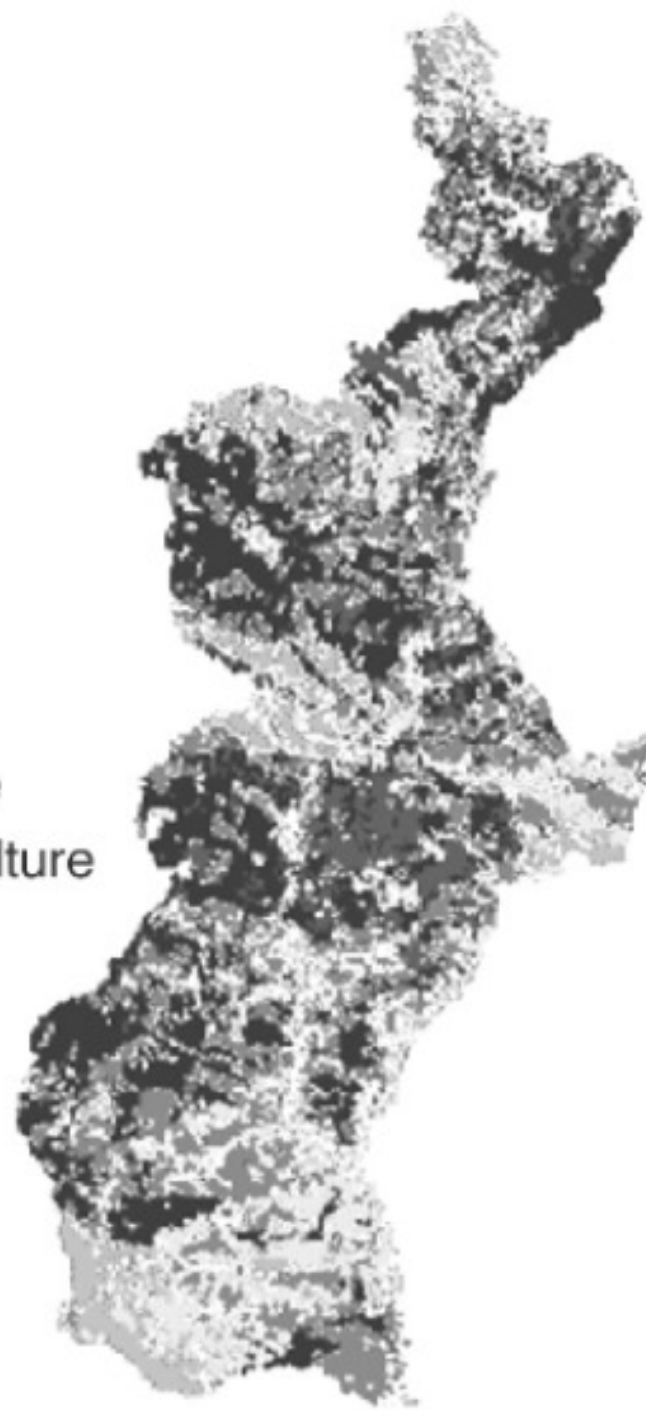
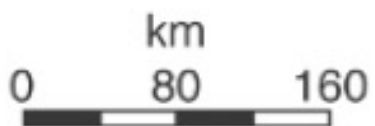
Implementácia algoritmu

- Multi-objective evolutionary algorithms (MOEAs) sa používajú v prípadoch, kedy neexistuje jedno optimálne riešenie, ale skôr sú alternatívne riešenia. Tieto riešenia sú optimálne v širšom zmysle, že žiadne iné riešenia v priestore hľadania nie sú lepšie, keď sa zohľadnia všetky ciele.
- Pre evolučný algoritmus bol použitý Pareto archived evolution strategy (PAES) vyvinutý Knowlesom a Corneom (1999). Tento algoritmus je možno najjednoduchším evolučným postupom pre viacrozmernú optimalizáciu a je založený na rozšírení (1+1) evolučnej stratégie.
- Algoritmus PAES udržiava archív nedominovaných riešení, pričom žiadne z nich nemôže byť lepšie ako ostatné. Použitie PAES algoritmu bolo vybrané kvôli veľkým rozmerom problému ako je rozloha krajiny v kilometroch štvorcových.
- Mutácia v GeneticLand algoritme mení bunku na iné využitie pôdy a zmení aj niekoľko okolitých buniek na nové využitie, aby sa predišlo neplatným riešeniam.
- Algoritmus bol spustený s viac ako jeden milión iterácií na Linux serveri.



Land-use classes

-  Other classes
-  Annual agriculture
-  Permanent agriculture
-  Mixed agriculture
-  Forest
-  Shrubs



Aplikácia algoritmu GeneticLand

- Algoritmus GeneticLand bol testovaný v polosuchej oblasti južného Portugalska v povodí rieky Guadiana, ktorá je charakterizovaná chudobnými pôdami a nízkou produktivitou, čo demonštruje jeho použiteľnosť pri dlhodobom plánovaní využitia pôdy v kontexte zmien klímy.
- Medzi hlavné spôsoby využívania pôdy patrí jednoročné poľnohospodárstvo, väčšinou pšenica, zmiešané poľnohospodárstvo, zvyčajne poľnohospodárske plochy v rámci prirodzenej vegetácie, ako aj rozsiahle plochy krovín, zvyčajne druhov prispôbených podmienkam nedostatku vody, ako sú skalné ruže (*Cistus ladeniferus*), a malé plochy lesov.
- Táto oblasť bola vybraná pre svoju uznávanú ekosystémovú krehkosť a vysokú zraniteľnosť voči klimatickým zmenám.
- Minimalizácia cieľovej funkcie erózie pôdy bola podporená klimatickými a geomorfologickými dátami, ako aj faktorom náchylnosti využitia pôdy na straty pôdy.

Aridity index classes



Major soil types



Slope classes



Topographic soil wetness index classes



km
0 20 40

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

- Cambisols
- Lithosols
- Ferric luvisols
- Albic-gleyic luvisols
- Orthic luvisols
- Rhodo-chromic luvisols
- Rhodo-chromic-calcic luvisols
- Vertic luvisols
- Vertisols

Value
High : 15
Low : 1

- No data values
- 4
- 6
- 8
- 10
- 12
- 14
- 16
- 18
- 20
- 22
- 24
- 26
- 28

- Klimatické premenné (počet zrážok a teplota) zahrnuté v modeloch zmeny klímy sú dôležitými fyzikálnymi faktormi dlhodobého plánovania využitia pôdy.
- Geomorfologické vlastnosti krajiny, ako je sklon, typ pôdy a index sucha, sú kľúčové pre stanovenie obmedzení pri priradovaní rôznych typov využitia pôdy v GeneticLand algoritme.
- Prostredníctvom rôznych analýz vytvorili výskumníci kompletnú sadu geomorfologických obmedzení, ktoré slúžili ako vstup pre GeneticLand algoritmus.

Výsledky

- Vybraná časť študijného regiónu s rozlohou približne 9 km² bola zvolená na testovanie implementácie a výkonnosti algoritmu GeneticLand.
- Každé spustenie algoritmu GeneticLand generuje súbor riešení, ktoré sa vyvíjajú z počiatočného náhodného obrazu. Pre každý klimatický scenár (aktuálny a zmena klímy) boli vygenerované dve sady 15 krajinárskych riešení.
- Hoci medzi 30 krajinnými riešeniami existujú rozdiely, všetky riešenia sú v súlade s uvedenými obmedzeniami (viac ako 91 % plochy). Hĺbková analýza riešení ukazuje, že pri pridelovaní tried využitia krajiny algoritmom GeneticLand sa uprednostňuje zvýšenie absorpcie uhlíka pred znížením erózie pôdy.
- Algoritmus GeneticLand úspešne znižuje celkovú mieru erózie pôdy, aj keď modely pre scenár zmeny klímy vykazujú mierne vyššie miery erózie.
- Výsledky algoritmu GeneticLand ukazujú významný nárast absorpcie uhlíka a zároveň zníženie erózie pôdy, čo naznačuje jeho potenciál v rámci plánovania využitia pôdy a adaptácie na zmenu klímy.

Záver

- V závere autori navrhujú uvažovať o dlhodobých zmenách využívania krajiny s ohľadom na klimatické faktory a formulovať politické scenáre na základe modelovania využívania krajiny ako optimalizačného problému s dvojitou účelovou funkcionalitou.
- Algoritmus GeneticLand úspešne generoval krajinné riešenia pre súčasné a budúce klimatické scenáre, ktoré výrazne zvýšili absorpciu uhlíka a zároveň znížili eróziu pôdy, pričom väčšina riešení spĺňala stanovené obmedzenia.
- Krajinné riešenia vytvorené algoritmom GeneticLand sa vyznačovali priestorovou heterogenitou využívania pôdy, čo sa považuje za vhodnú stratégiu na podporu udržateľnosti ekosystémov a zabránenie erózii pôdy.
- Pri ďalšom vývoji je potrebné zohľadniť niektoré obmedzenia, vrátane lepšieho zohľadnenia dynamiky zmien vo využívaní krajiny, umožnenia výberu rôznych tried využívania krajiny a prispôsobenia fyzickej vhodnosti využitia pôdy.

Ďakujem za pozornosť

Odkaz na článok:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-5648-2_11