

*Χωρική Πολυπλοκότητα
και
Χωρική Εντροπία*

Φοίβος Παπαδημητρίου
Πανεπιστήμιο του Tübingen

geotopia@yahoo.fr

Χωρική Πολυπλοκότητα

(Spatial Complexity)

είναι η πολυπλοκότητα μιας επιφάνειας
ή ενός χωρικού αντικειμένου (ή μιας κατανομής επί αυτών)
διάστασης τουλάχιστον δύο

Χωρική Εντροπία

(Spatial Entropy)

είναι η πληροφορική εντροπία μιας τέτοιας επιφάνειας
ή χωρικού αντικειμένου

Χωρική Πολυπλοκότητα και Χωρική Εντροπία

Βασικά ερωτήματα

- Για ποιές επιστήμες και τεχνολογίες είναι σημαντικές;
- Πώς μετρώνται;
- Από ποιούς παράγοντες εξαρτώνται;
- Ποιά τα πεδία εφαρμογών τους;
- Πώς τις αντιλαμβανόμαστε;

Βασικά κείμενα

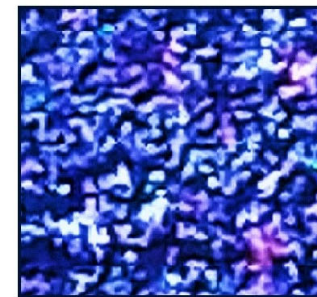
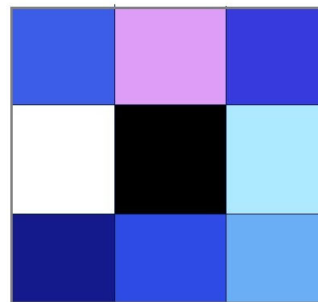
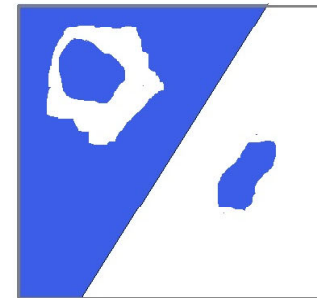
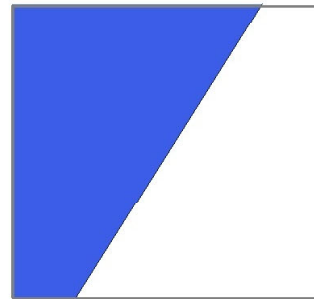
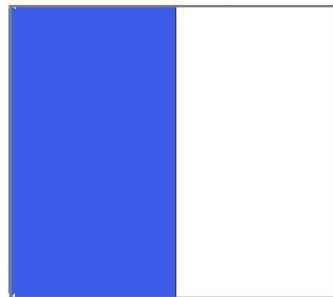
Papadimitriou, Fivos (2020). “[Spatial Complexity](#). Theory, Mathematical Methods and Applications”. Springer.

Papadimitriou, Fivos (2022). “[Spatial Entropy](#) and Landscape Analysis”. Springer vs.

Μια πρώτη προσέγγιση

Η Χωρική Πολυπλοκότητα αυξάνει όταν στο χώρο αυξάνουν...

- Η ποικιλία διαφορετικών τύπων αντικειμένων ή/και
- Οι ανισότητές τους ή/και
- Η ασυμμετρία τους ή/και
- Η αταξία τους



Η Χωρική Πολυπλοκότητα είναι σημαντική σε διάφορες επιστήμες, π.χ.:

- Κοσμολογία (ανομοιογένειες μάζας και θερμοκρασίας στον κοσμικό χώρο)
- Γεωλογία (κοιτασματολογία, στρωματογραφία, τεκτονική)
- Οικολογία και Βιογεωγραφία (διαχείριση τοπίου και οικοσυστημάτων)
- Φυσική (χωρικές μεταβολές των πολύπλοκων συστημάτων)
- Βιολογία (τοπολογία του DNA, τοπολογία πρωτεϊνών)
- Γεωπληροφορική (γεωχωρικά δεδομένα και GIS)
- Ηλεκτρονική (κυκλωματική πολυπλοκότητα)
- Ιατρική (ογκολογία, ανάλυση εικόνων MRI)
- Οπτική επικοινωνία (marketing)
- Αισθητική (εικαστικές τέχνες)
- Ψυχολογία (πειραματική και γνωσιακή)

Η Χωρική Πολυπλοκότητα είναι

άλλοτε **επιθυμητή**

(π.χ. στην Οικολογία: όσο πιο πολύπλοκο ένα οικοσύστημα στο χώρο, τόσο καλύτερα)

και άλλοτε **ανεπιθύμητη**

(π.χ. στη Γεωπληροφορική: όσο πολυπλοκότερο ένα geodata set τόσο πιο απαιτητική η διαχείρισή του)

Η Χωρική Εντροπία είναι...

- τύπος Πληροφορικής Εντροπίας /Information Entropy (όχι θερμοδυναμική εντροπία)

και

- άμεσα σχετική με τη Χωρική Πληροφορία («Γεωπληροφορία») που λαμβάνεται από μια επιφάνεια (χάρτη, γεωγραφικό χώρο, τοπίο, εικόνα, φωτογραφία κλπ).

Η Χωρική Εντροπία είναι σημαντική σε διάφορες επιστήμες:

- Γεωγραφία (χωρική ανάλυση, σχεδιασμός χώρου, χωρική βελτιστοποίηση)
- Γεωπληροφορική (ψηφιακή ανάλυση δορυφορικών εικόνων)
- Πληροφορική (στεγανογραφία)
- Οικολογία (ανάλυση τοπίου)
- Φυσική και Χημεία (αυτοοργάνωση και ανάπτυξη σε πολύπλοκα συστήματα)
- Θεωρία της Τέχνης (ανάλυση εικόνων και συσχέτισή τους με αισθητικές προτιμήσεις)

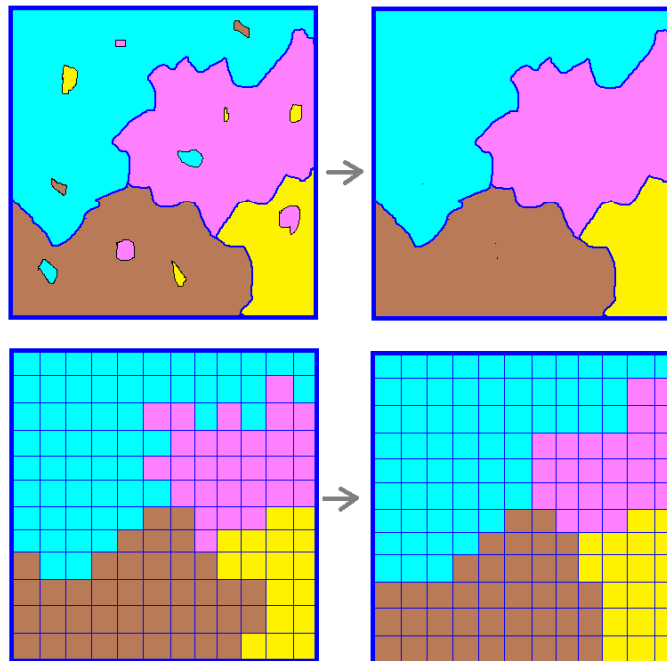
Μορφές Χωρικής Εντροπίας

- Χωρική Εντροπία *Χαρτών*
- Χωρική Εντροπία *Χωρικών Δικτύων*
- Χωρική Εντροπία *Διευθυνσιακών Δεδομένων*

Εξάρτηση της Χωρικής Πολυπλοκότητας από την κλίμακα παρατήρησης

Μπορούμε να μετατρέψουμε διάφορους τύπους χαρτών σε χάρτες με τετραγωνισμό, ώστε να μπορέσουμε να τους αναλύσουμε. Παρατηρούμε ότι η μελέτη της Χωρικής Πολυπλοκότητας εξαρτάται

- α) από την κλίμακα παρατήρησης (κάτι που είναι χωρικά πολύπλοκο σε ένα επίπεδο, μπορεί να φαίνεται λιγότερο πολύπλοκο σε ένα λιγότερο λεπτομερές επίπεδο) και
- β) από την εκάστοτε θεματική και γεωμετρική γενίκευση που έχει εφαρμοστεί



Μετρικές της Χωρικής Εντροπίας για raster maps

για κλάσεις (κατηγορίες, πληθυσμοί, χρώματα) i
και ποσοστά επί του συνόλου του εμβαδού της επιφανείας P_i

-Με τον τύπο του Shannon (μη-χωρικός)

-Με τους τύπους Papadimitriou, 2022* (H_2, H_3, H_4, H_5, H_6), οι οποίοι
βασίζονται μεν στον τύπο του Shannon, αλλά ο υπολογισμός τους
λαμβάνει υπόψη **και τη χωρική διαφοροποίηση**
(υπάρχουν ενδείξεις ότι οποιοσδήποτε από τους τύπους αυτούς είναι
εξίσου χρήσιμος- στατιστικά δίνουν παρόμοιες εκτιμήσεις)

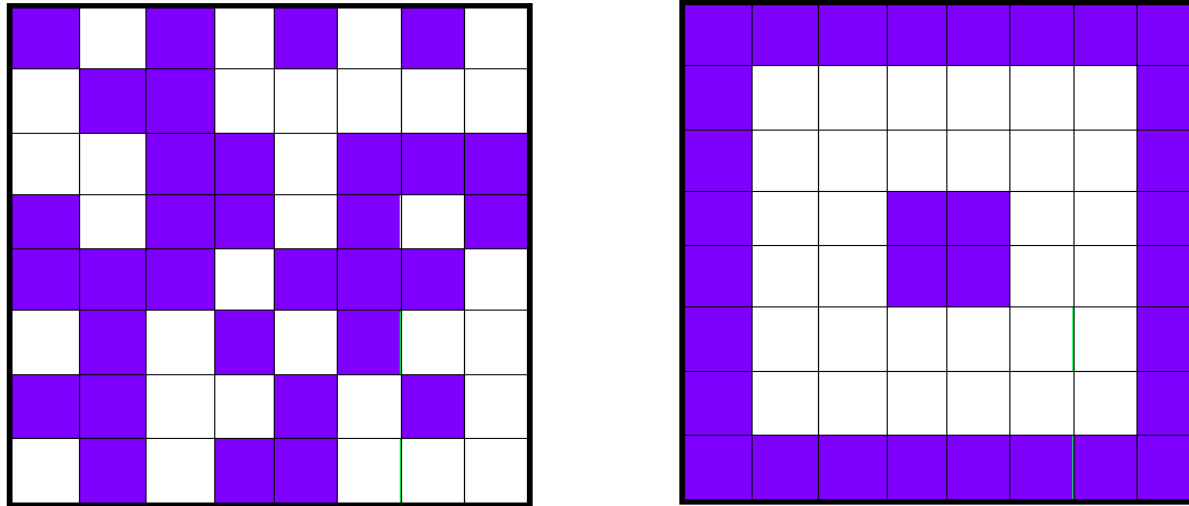
-Με παραμετρικούς τύπους εντροπίας (Renyi, κλπ) **

* Papadimitriou, F. (2022). Spatial Entropy and Landscape Analysis. (Chapter 2)

** Papadimitriou, F. (2022). Spatial Entropy and Landscape Analysis. (Chapter 7)

Χωρική Εντροπία και Χωρική Αταξία

Υψηλή εντροπία H_1 δεν σημαίνει απαραίτητα και υψηλή χωρική «αταξία» (*). Ένας χάρτης με συμμετρίες μπορεί να έχει διαφορετική τιμή χωρικής εντροπίας (H_2, H_3, H_4, H_5, H_6) σε σχέση με ένα χάρτη χωρίς συμμετρίες (παρά το ότι και οι δύο μπορεί να έχουν τον ίδιο αριθμό κλάσεων), παρά το ότι και οι δύο μπορεί να έχουν την ίδια H_1 .



Ιδίες τιμές Shannon entropy, αλλά ο ένας χάρτης με τάξη και ο άλλος με αταξία

Τέτοιες περιπτώσεις δίνουν όμως **διαφορετικές τιμές Χωρικής Εντροπίας H_2 ως H_6**

* Papadimitriou, F. (2022). Spatial Entropy and Landscape Analysis. (Chapter 6).

Μετρικές της Χωρικής Εντροπίας για Χωρικά Δίκτυα

Με βάση την ισοκατανομή των degrees d του κάθε κόμβου i και τον τύπο του Shannon (Safara et al 2011*; Morzy et al. 2017*; Papadimitriou, 2022**):

$$H(N) = - \sum_{i=1}^{i=g} \frac{d_i}{\left(\sum_{i=1}^{i=g} d_i \right)} \log \left(\frac{d_i}{\left(\sum_{i=1}^{i=g} d_i \right)} \right)$$

*Morzy M, Kajdanowicz T, Kazienko P (2017). On Measuring the Complexity of Networks: Kolmogorov Complexity versus Entropy. *Complexity*, Article ID 3250301

*Safara MH, Sorkhoh IY, Farahat HM, Mahdi KA (2011). On Maximizing the Entropy of Complex Networks. *Procedia Computer Science* 5:480–48.

** Papadimitriou, F. (2022). Spatial Entropy and Landscape Analysis. (Chapters 2 and 3)

Μετρικές της Χωρικής Εντροπίας για Διευθυνσιακά δεδομένα

Normal pdf:
$$N_W(\theta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \sum_{-\infty}^{\infty} \left(e^{\frac{-(\theta-\mu-2\pi k)^2}{2\sigma^2}} \right)$$

Εντροπία της normal pdf:
$$H(N_W(\theta, \mu, \sigma)) = - \int N_W(\theta, \mu, \sigma) \log N_W(\theta, \mu, \sigma) d\theta$$

Von Mises pdf:
$$M(\theta, \mu, \kappa) = \frac{1}{2\pi} \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_n(\kappa)}{I_0(\kappa)} \cos(n\theta) \right)$$

Εντροπία της Von Mises pdf:
$$H(M(\theta, \mu, \kappa)) = \log(2\pi I_0(\kappa)) - \kappa \left(\frac{I_1(\kappa)}{I_0(\kappa)} \right)$$

* Papadimitriou, F. (2022). Spatial Entropy and Landscape Analysis. (Chapter 3)

**Σύμφωνα με τη Θεωρία της Χωρικής Πολυπλοκότητας
(Papadimitriou, F. 2020*),**

**Τρεις κατηγορίες παραγόντων
ρυθμίζουν τη Χωρική Πολυπλοκότητα:**

A) Γεωμετρία

B) Εντροπία και Τυχειότητα

Γ) Τοπολογία

* Papadimitriou, Fivos (2020). “Spatial Complexity. Theory, Mathematical Methods and Applications” (Chapters 3, 4, 5).

Εκτίμηση της Χωρικής Πολυπλοκότητας

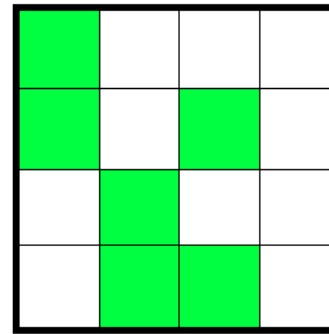
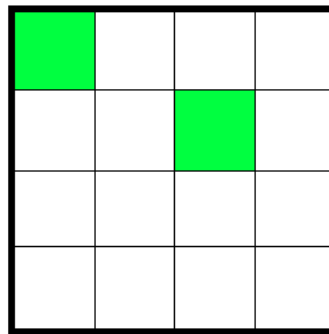
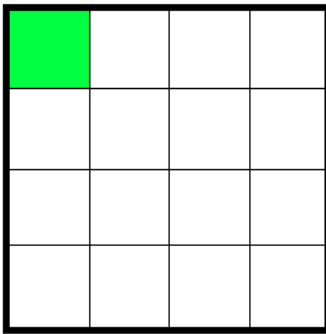
- Δεν έχουμε μια γενική μετρική που να συνυπολογίζει **όλους** τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η Χωρική Πολυπλοκότητα.
- Έχουμε όμως μεθόδους (Papadimitriou, 2020 *) βασισμένες στην αλγοριθμική πολυπλοκότητα, 2διάστατες ευκλείδειες επιφάνειες κυψελωτής μορφής (raster maps) που βασίζονται στην κωδικοποίηση των χωρικών κλάσεων, αλλά και βασισμένες στη γεωμετρία και στην τοπολογία.
- Τρεις κατηγορίες μετρικών χωρικής πολυπλοκότητας (μετρικές Papadimitriou, 2020 *):
 - α) **Αλγοριθμικές**: $CP1$, $CP2$
 - β) **Γεωμετρικές**: CP , CLN
 - γ) **Τοπολογικές**: $C(s)$, CR

* Papadimitriou, Fivos (2020). “Spatial Complexity. Theory, Mathematical Methods and Applications” (Chapters 5, 6, 7).

Εντροπία και Χωρική Πολυπλοκότητα

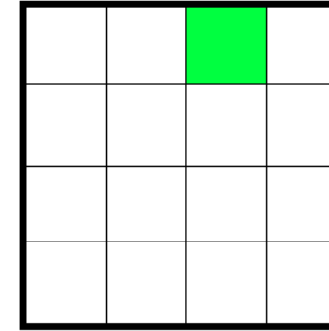
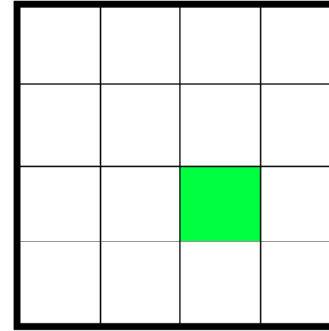
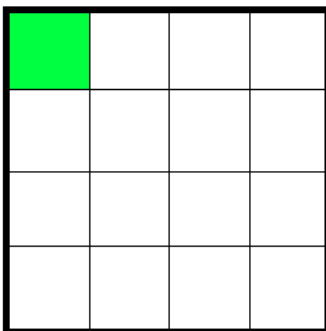
Η εντροπία είναι **αναγκαία αλλά όχι ικανή** συνθήκη για την παραγωγή Χωρικής Πολυπλοκότητας

διότι απαιτείται και **τοπολογική διαφοροποίηση** (η ίδια εντροπία μπορεί να παράγει διαφορετική Χωρική Πολυπλοκότητα, ανάλογα με την τοπολογία (τα σύνορα εν προκειμένω)):



Η Χωρική Εντροπία είναι αναγκαία για την παραγωγή Χωρικής Πολυπλοκότητας

αλλά όχι ικανή:



Ίδια Χωρική Εντροπία, αλλά διαφορετικές Χωρικές Πολυπλοκότητες

Χωρική Πολυπλοκότητα, Ψυχολογία * και Αισθητική **

- Πώς αξιολογούμε αισθητικά τη Χωρική Πολυπλοκότητα;
- Προτιμούμε κάτι χωρικά πολύπλοκο ή κάτι χωρικά απλό;
- Πώς μπορεί ένα χωρικό αντικείμενο με χαμηλή Χωρική Πολυπλοκότητα να είναι συνδυασμένο με υψηλή Σημασιολογική Πολυπλοκότητα; (με ισχυρό μήνυμα-π.χ. ισχύς των συμβόλων στις θρησκείες και στους μύθους)
- Άμεση σχέση της Χωρικής Πολυπλοκότητας με τους κανόνες της Ψυχολογίας Gestalt
- Πώς αντιλαμβανόμαστε κάτι χωρικά πολύπλοκο;
- Πως σχετίζεται η Χωρική Πολυπλοκότητα με το νόημα;

* Papadimitriou, F. (2020). Spatial Complexity. (Chapter 15)

** Papadimitriou, F. (2020). Spatial Complexity. (Chapter 16)