

Η συλλογική (collective) και αναδυόμενη (emergent) συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων, όπως διδάσκεται με τη βοήθεια του μοντέλου «Σμήνη Πουλιών» της NetLogo. Μία διδακτική παρέμβαση.

Περίληψη

Γίνεται όλο και περισσότερο αποδεκτό διεθνώς, ότι η συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων δεν μπορεί να ερμηνευτεί μόνο με μαθηματικές εξισώσεις, και απαιτείται μία πιο ολιστική προσέγγιση. Αυτός είναι και ένας λόγος για την ανάπτυξη και εξάπλωση της – λεγόμενης – επιστήμης των Πολύπλοκων Συστημάτων, ενταγμένης μέσα σε πολλά επιστημονικά πεδία, αλλά και μέσα σε εκπαιδευτικά πλαίσια. Μία μεγάλη ποικιλία από συστήματα στη Φύση, την οικονομία, την κοινωνία κ.α. τείνουν να αναδεικνύουν μία συλλογική συμπεριφορά, με συγκεκριμένα μοτίβα να προκύπτουν σε αυτά, και με όρους όπως η «νοημοσύνη σμήνους» να γίνονται πλέον μέρος της καθημερινής πρακτικής των επιστημών. Επομένως προκύπτει μία ανάγκη διδασκαλίας της συμπεριφοράς αυτών των συστημάτων, ακόμη και αν οι διδασκόμενοι δε διαθέτουν ένα «ισχυρό» υπόβαθρο στις Θετικές Επιστήμες. Πολύ χρήσιμο εργαλείο για το σκοπό αυτό είναι τα πολυ-πρακτορικά συστήματα μοντελοποίησης και προσομοιώσεων, με προεξέχον αυτό της NetLogo. Στην παρούσα εργασία, προτείνεται το μοντέλο «Σμήνη Πουλιών» (“Flocking”) της NetLogo και εντάσσεται σε μία ειδικά σχεδιασμένη διδακτική παρέμβαση, με στόχο να δημιουργηθεί μία διδακτική στρατηγική σχετική με τη συλλογική συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων και τη «νοημοσύνη σμήνους», σε Έλληνες μαθητές Πρώιμης Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.

Abstract.

It is becoming internationally accepted that the behavior of natural systems cannot be thoroughly interpreted by mathematical equations alone, and a more holistic approach is required. This is a reason for the growth and the expansion of Complex Systems’ science in many scientific fields, as well as in educational settings. A great variety of systems in nature, economy, society etc, tend to depict a collective behavior, with specific patterns of behavior arising and terms such as “swarm intelligence” becoming now part of science’s everyday practice. Therefore, a need rises to teach about such systems’ comportment, even if the learners do not possess a “heavy” Science background. A very useful tool for this purpose are Agent-Based computer models and simulations, with NetLogo prevailing. In the present work, a NetLogo model, called “flocking”, is proposed and embedded in a specially designed teaching intervention, in order to create a teaching strategy for the instruction about natural systems’ collective behavior and “swarm intelligence” to Greek Junior Secondary Education students.

1. Εισαγωγή

Στη σημερινή επιστημονική πρακτική αυξάνεται συνεχώς η ταυτοποίηση και η μελέτη φυσικών συστημάτων που αποτελούνται από πολλά μέρη και εμφανίζουν μία συλλογική συμπεριφορά σύνθετη ή και χαοτική, ενώ τα επιμέρους μέρη τους ακολουθούν σχετικά απλούς κανόνες (Bonabeau, Dorigo and Theraulaz, 1999; Deneubourg & Goss, 1989). Πολλά από αυτά τα συστήματα υπάγονται και στα Πολύπλοκα Συστήματα (Complex Systems) (Solé & Goodwin, 2001) και η ερμηνεία της συμπεριφοράς τους δεν μπορεί να γίνει με μαθηματικές εξισώσεις αλλά κυρίως με κατανόηση (i) των απλών κανόνων που ακολουθούν

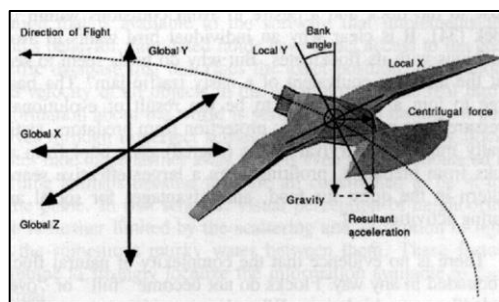
τα μέλη τους και (ii) των αλληλεπιδράσεων – μικρής και μεσαίας κλίμακας – μεταξύ των μελών τους.

Από εκπαιδευτική σκοπιά έχει τονιστεί στη βιβλιογραφία η μεγάλη σημασία του να διδάσκονται οι μαθητές όλων των βαθμίδων τις ιδιότητες τέτοιων φυσικών συστημάτων (Jacobson & Wilensky, 2006; Goldstone, 2006). Με μία τέτοια εκπαίδευση οι μαθητές θεωρείται ότι μαθαίνουν πως δεν εξηγούνται τα πάντα με τον αναγωγικό τρόπο σκέψης (όπως πιθανά τους οδηγούν να σκέφτονται τα κλασικά προβλήματα της σχολικής επιστήμης), αναζητούν ερμηνείες σε επίπεδο όχι ατομικής συμπεριφοράς αλλά αλληλεπιδράσεων και αναγνωρίζουν ή προβλέπουν μοτίβα στη φύση. Είναι πολύ σύνηθες τέτοια συστήματα στη Φύση να μοντελοποιούνται μέσω υπολογιστικών προσομοιώσεων (Railsback & Grimm, 2012) και ένα πολύ πρόσφορο λογισμικό για το σκοπό αυτό είναι η NetLogo (Wilensky, 1999; Wilensky & Rand, 2015). Η NetLogo είναι ένα πολυ-πρακτορικό περιβάλλον προσομοιώσεων, προγραμματισμού και μοντελοποίησης, στηριγμένο στη γλώσσα Logo, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε διεθνές επίπεδο για εκπαιδευτικούς αλλά και ερευνητικούς –πλέον– σκοπούς.

2. Μεθοδολογία

Στη διδακτική παρέμβαση που περιγράφεται εδώ, χρησιμοποιείται το μοντέλο της NetLogo «Σμήνος Πουλιών» (“Flocking”) (Wilensky, 1998), από τη Βιβλιοθήκη Μοντέλων της. Στο μοντέλο αυτό, οι πράκτορες (agents) προσομοιώνουν την πτήση ενός σμήνους πουλιών. Το μοντέλο έχει τις ιστορικές του ρίζες στο μοντέλο των “boids” (bird-oid objects = αντικείμενα σαν πουλιά), το οποίο εισήγαγε ο προγραμματιστής Craig Reynolds (Reynolds, 1987) και το οποίο θεωρήθηκε σταθμός στην εξέλιξη των περιβαλλόντων Τεχνητής Ζωής (Artificial Life). Ένα τέτοιο boid απεικονίζεται στην Εικόνα 1.

Εικόνα 1: Το «boid» και η τροχιά πτήσης του στο σμήνος, με όρους Φυσικής (Reynolds 1987)



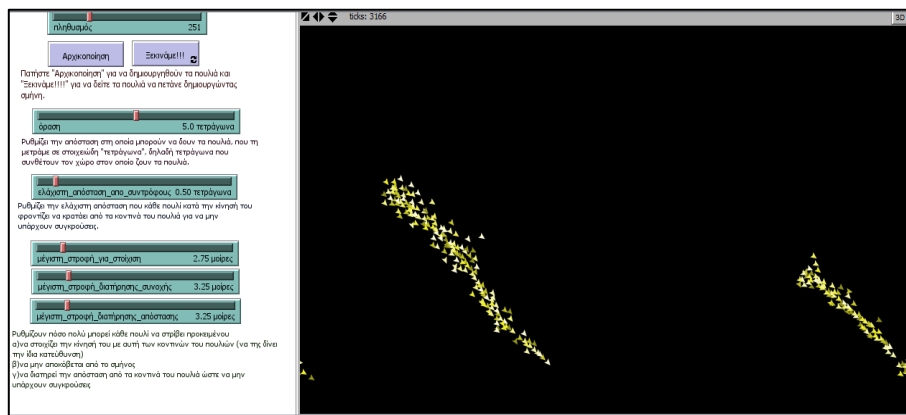
Τα boids του Reynolds πετούν σε σμήνη ακολουθώντας μόνο *τρεις* απλούς κανόνες: (i) **στοίχιση**: Ευθυγραμμίζουν, κατά το δυνατό, την ταχύτητά τους με τα γειτονικά τους πτηνά στο σμήνος (ii) **διατήρηση συνοχής**: Προσπαθούν να μένουν κοντά με τα γειτονικά τους πτηνά στο σμήνος και (iii) **διατήρηση απόστασης**: Επιδιώκουν να διατηρούν μία ελάχιστη απόσταση με τα γειτονικά τους πτηνά στο σμήνος, προς αποφυγή συγκρούσεων.

Οι κανόνες πτήσης βέβαια των αληθινών πουλιών σε σμήνη είναι πολύ συνθετότεροι και ακόμα υπό διερεύνηση επιστημονικά (Cavagna et al., 2015; Stonedahl & Wilensky, 2011). Όμως οι τρεις κανόνες πτήσης των boids δίνουν προσομοιώσεις πολύ κοντινές με τις αληθινές (Stonedahl & Wilensky, 2011) και είναι εύχρηστες για διδακτικούς σκοπούς. Στους τρεις αυτούς κανόνες στηρίζεται και το μοντέλο της NetLogo «Σμήνη Πουλιών» (“Flocking”), όπου οι κανόνες οπτικοποιούνται ως παράμετροι που επηρεάζουν την κίνηση των πουλιών (Εικόνα 2).

Οι μαθητές εργάστηκαν ανά δύο ή τρεις με το μοντέλο στον υπολογιστή στην προσπάθειά τους να απαντήσουν τις ερωτήσεις του Φύλου Εργασίας. Η γενική διδακτική στρατηγική

είναι η καθοδηγούμενη διερεύνηση, ενώ το γνωσιοθεωρητικό υπόβαθρο είναι ο Κατασκευαστικός Εποικοδομητισμός (Constructionism) (Papert, 1991). Η παρέμβαση δοκιμάστηκε σε δείγματα μαθητών από δύο Γυμνάσια της Αθήνας, παρεμφερούς κοινωνικοοικονομικού και γνωστικού υποβάθρου. Η διδακτική παρέμβαση διήρκεσε δύο ώρες στο πρώτο σχολείο στο οποίο δοκιμάστηκε στο πλαίσιο ενός ομίλου που πραγματοποιείται μετά την λήξη του ωραρίου, και 3 διδακτικές ώρες στο δεύτερο σχολείο στο πλαίσιο του μαθήματος της Πληροφορικής. Στο πρώτο σχολείο το δείγμα αποτελείται από 20 μαθητές (16 της Α' Γυμνασίου, 1 της Β' και 3 της Γ' Γυμνασίου), εκ των οποίων τα 11 ήταν κορίτσια και τα 9 αγόρια. Στο δεύτερο σχολείο το δείγμα αποτελείται από 27 μαθητές της Γ' Γυμνασίου εκ των οποίων τα 17 αγόρια και τα 10 κορίτσια.

Εικόνα 2: Στιγμιότυπο οθόνης ενός από τα προσαρμοσμένα στη διδακτική παρέμβαση μοντέλα



Ως διδακτικοί στόχοι της παρέμβασης τέθηκαν, οι εξής:

- Να είναι σε θέση οι μαθητές να διαπιστώνουν την επίδραση στο σμήνος της μεταβολής κάθε μίας από τις τρεις προαναφερθείσες παραμέτρους και επιπλέον δύο παραμέτρων του μοντέλου, δηλαδή του πληθυσμού και του εύρους οπτικού πεδίου, ώστε να οδηγηθούν στην κατανόηση της βασικής σημασίας των τοπικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ γειτόνων για τη διαμόρφωση συνολικών, μεγάλης κλίμακας συμπεριφορών στα φυσικά συστήματα. (Levy & Wilensky, 2008; Chi, 2005; Resnick, 1997). Ταυτόχρονα είναι μορφή διερευνητικής μάθησης.
- Να μπορούν οι μαθητές να εκφράσουν με σαφήνεια, εάν τα σμήνη των «πουλιών» έχουν κάποιο αρχηγό/οδηγό και υπό ποιες συνθήκες, και να το δικαιολογούν, διαδικασία που είναι σημαντική για την ανασκευή του «ντετερμινιστικού - κεντροποιημένου» τρόπου σκέψης (deterministic - centralized mindset, D-C mindset) (Resnick, 1997).
- Να δομούν οι μαθητές, δοκιμάζοντας διαφορετικές τιμές των παραμέτρων, συγκεκριμένα μοτίβα και χρονικές εξελίξεις για τα σμήνη στην οθόνη και να τα ταυτοποιούν (Constructionism).
- Να διαπιστώνουν αν η συμπεριφορά των σμηνών είναι δυναμική (εάν αλλάζει με το χρόνο), εάν είναι επαναλήψιμη κλπ.

Βάση για τη δόμηση των Φύλλων Εργασίας (φ.ε) της παρέμβασης αποτέλεσαν άλλα φ.ε. των συγγραφέων για ανάλογες διδακτικές παρεμβάσεις (Gkiolmas et al., 2012; 2013; 2016; Χαλκίδης κ.α., 2016), καθώς και άλλα φ.ε. που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία για το μοντέλο «Σμήνη Πουλιών» (Teahan, 2010; Greenfest-Allen, 2008). Στην εικόνα 3 φαίνονται αποκόμματα από τις ερωτήσεις των φύλλων εργασίας τα οποία θα δοθούν (ολόκληρα) ως παράρτημα στο πλήρες κείμενο της εργασίας.

Σε μια πρώτη πιλοτική ανάλυση οι απαντήσεις των μαθητών κατηγοριοποιήθηκαν ώστε να αξιολογηθεί η επίτευξη των στόχων της διδακτικής παρέμβασης.

Εικόνα 3: Ενδεικτικές ερωτήσεις από το φύλλο εργασίας.

[Ερώτηση 7]. Τώρα *ας* γίνουμε πιο συγκεκριμένοι: Βάλτε σε κύκλο την - κατά τη γνώμη σας - σωστή απάντηση και δικαιολογήστε την όσο μπορείτε, με βάση τις δοκιμές που έχετε κάνει:

- α. Τα σμήνη των πουλιών δεν έχουν ποτέ αρχηγό / οδηγό.
- β. Τα σμήνη των πουλιών έχουν πάντα κάποιον αρχηγό / οδηγό.
- γ. Τα σμήνη πουλιών άλλοτε έχουν και άλλοτε όχι αρχηγό / οδηγό, ανάλογα με τις τιμές που βάζουμε
- δ. Το ίδιο σμήνος με συγκεκριμένες τιμές μπορεί να ξεκινήσει με αρχηγό και στην πορεία να μην έχει ή το αντίστροφο.

Σκεφτείτε καλά κι αιτιολογήστε τι επιλέξατε:

[Ερώτηση 9] *Ας* προσπαθήσουμε τώρα να ερμηνεύσουμε πώς επηρεάζει τη συμπεριφορά των πουλιών κάθε ένα από τα δύο αυτά κομμάτια («όραση» και «ελάχιστη απόσταση») χωριστά. Διαφωτίστε τη σκέψη σας.

[Ερώτηση 14] *Ας* προσπαθήσουμε τώρα - παίζοντας με τα παραμέτρους - να κατασκευάσουμε / «χτίσουμε» εμείς είδη από σμήνη. Σημειώνετε κάθε φορά τι σκεφτήκατε και με ποιο συνδυασμό το πετύχατε:

- A. όλα τα πουλιά να έχουν μπει σε ομάδες, όπως να 'ναι. Κανένα μόνο του.
- B. Αρκετά πουλιά μόνα τους – χωρίς συντρόφους στο πέταγμα:
- Γ. Σμήνη σφαιρικά (περίπου)
- Δ. Όλα τα σμήνη - ανεξαρτήτως των σχημάτων τους - να πηγαίνουν στην οθόνη προς την ίδια κατεύθυνση.
- E. Σμήνη μακρουλά σαν ουρές, διαφόρων σχημάτων.
- ΣΤ. Επαναλαμβάνεται μία σταθερή εικόνα στην οθόνη, χωρίς να βλέπουμε σμήνη.
- Τι συμπεράσματα βγάξετε;

3. Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των απαντήσεων στα φύλλα εργασίας φαίνεται ότι το Φύλλο Εργασίας:

- α. Έχει την προβλεπόμενη δομή και είναι αυτοσυνεπές.
 - β. Είναι ορθά ενταγμένο στο μαθησιακό του πλαίσιο (inquiry-based learning) και στο γνωσιοθεωρητικό του υπόβαθρο (Constructionism).
 - γ. Ανταποκρίνεται στους διδακτικούς στόχους που παρατίθενται στη μεθοδολογία.
- Συνεπώς θεωρούμε ότι μπορεί να αποτελέσει μία βάση για τη διδασκαλία φαινομένων συλλογικής συμπεριφοράς, ανάδυσης και νοημοσύνης σμήνους στη Φύση, για μικρούς μαθητές, χωρίς βαθιές γνώσης Μαθηματικών και Φυσικής.

4. Βιβλιογραφία

- Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (1999). *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. New York: Oxford University Press.
- Cavagna, A., Giardina, I., Grigera, T., S., Jelic, A., Levine, D., Ramaswamy, S., and Viale, M. (2015). Silent Flocks: Constraints on Signal Propagation across Biological Groups. *Physical Review Letters*, 114, 218101.
- Chi, M., T., H. (2005). Commonsense concepts of emergent processes: why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences* 14: pp. 161–199.
- Deneubourg, J., L., & Goss, S. (1989). Collective patterns and decision-making. *Ethology, Ecology & Evolution*, Vol.1, pp. 295–311.
- Gkiolmas, A., Chalkidis, A., Karamanos, K., Papaconstantinou, M., & Skordoulis, C. (2012). A Constructionist Method for Teaching Teachers about Basic Properties of Complex Systems, using a NetLogo Model, in *Proceedings of Constructionism 2012*, Athens, pp. 270-280.
- Gkiolmas, A., Karamanos, K., Chalkidis, A., Skordoulis, C., Papaconstantinou, M., & Stavrou, D. (2013). Using Simulations of NetLogo as a Tool for Introducing Greek High-School Students to Eco-Systemic Thinking. *Advances in Systems Science and Application (2013) Vol.13*, n. 3, pp. 275-297.
- Gkiolmas, A., Papaconstantinou, M., Chalkidis, A., & Skordoulis, C. (2016). Multi-Agent Models, Made in NetLogo, for Teaching Simple Properties of Complex Natural Systems, and their

Instructional Use, in Smyrniou Z., Riopel M. & Sotiriou M. (eds) *Recent Advances in Science and Technology Education, Ranging from Modern Pedagogies to Neuroeducation and Assessment*, Cambridge Scholars Publishing, pp. 146-157.

Goldstone, R. L. (2006). The complex systems see-change in education. *Journal of Learning Sciences*, 15, 35–43.

Greenfest-Allen, E. (2008) Exercise 4. *Course: Emergence (CMSC/BIOL 361)*. Pennsylvania: Bryn Mawr College. στο <http://cs.brynmawr.edu/Courses/cs361/spring2008/Exercises/Exercise4.pdf>
Ανακτήθηκε: στις 9 Νοεμβρίου 2016

Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), pp. 11–34.

Levy, S. T., & Wilensky, U. (2008). Inventing a “Mid-level” to make ends meet: reasoning between the levels of Complexity. *Cognition and Instruction*, 26(1), σελ. 1–47.

Papert, S. (1991). Situating Constructionism. In: S. Papert & I. Harel (Eds), *Constructionism*, pp. 1-11. Norwood, New Jersey : Ablex.

Railsback, S. F., & Grimm, V. (2012). *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Resnick, M. (1997) *Turtles, Termites and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. Massachusetts: MIT Press.

Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds and schools: a distributed behavioral model. *Computer Graphics*, 21 (4), pp. 25-34.

Solé, R. V., & Goodwin, B. (2001). *Signs of life: How Complexity pervades Biology*. New York: Basic Books.

Stonedahl F., & Wilensky, U. (2011). Finding forms of flocking: Evolutionary search in ABM parameter-spaces. *Multi-Agent-Based Simulation XI*, (Volume 6532 of the series Lecture Notes in Computer Science), pp.61–75.

Teahan, W., J. (2010) *Artificial Intelligence: Exercises II. Agent Behaviour - I*. Frederiksberg, Denmark: Ventus Publishing ApS

Wilensky, U. (1998). *NetLogo Flocking model*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Flocking>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University.

Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social and engineered complex systems with NetLogo*. MIT Press, Cambridge Massachusetts.

Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), pp. 3-19.

Χαλκίδης, Α., Γκιόλιας, Α., Στούμπα, Α., Κονταξή, Μ., Σκορδούλης, Κ. (2016). Μπορούν μαθητές Γυμνασίου να προσεγγίσουν έννοιες πολυπλοκότητας εργαζόμενοι με τη βιβλιοθήκη μοντέλων της NetLogo; Ευρήματα από μια πρώτη διερεύνηση. στο Mikropoulos, T. A., Papachristos, N., Tsiara, A., Chalki, P. (eds.), *Proceedings of the 10th Pan-Hellenic and International Conference “ICT in Education”*, Ioannina: HAICTE. pp. 419-426