2

Τι είναι ένας αλγόριθμος;

Για να καταλάβουμε τι είναι ένας αλγόριθμος, ας ξεκινήσουμε πηγαίνοντας πίσω μερικές χιλιετίες, κι ας φανταστούμε έναν από τους μακρινούς μας προγόνους που είδε τη μακαρίτισσα τη γιαγιά του να ψήνει ψωμί και αποφάσισε να δοκιμάσει κι ο ίδιος. Στην πραγματικότητα δεν έχει ιδέα τι κάνει. Διστάζει, ξεκινάει βράζοντας σε νερό σιταρόσπορους, και στη συνέχεια συνειδητοποιεί πως μάλλον ήταν κακή η ιδέα του. Αντιδρά όπως όλοι μας, όταν ερχόμαστε αντιμέτωποι με προβλήματα που δεν ξέρουμε τη λύση τους: σκαρφιζόμαστε μία, τη δοκιμάζουμε με προσοχή, κι ελπίζουμε στην εύνοια της τύχης, μέχρι να πετύχουμε ή όχι.

Ωστόσο, οι αληθινοί αρτοποιοί δεν λειτουργούν έτσι. Έχοντας μάθει και γνωρίζοντας πλέον τον τρόπο, δεν χρειάζεται να εφευρίσκουν ξανά και ξανά τη συνταγή. Και αφού την κατέχουν, μπορούν να εξασφαλίζουν το ψωμί μας καθημερινά. Ο πολιτισμός ανθεί πράγματι χάρη στην επινοητικότητα των ανθρώπων, αλλά και επειδή μερικοί εξ αυτών αντιγράφουν τις εφευρέσεις των άλλων, πολλές φορές βελτιώνοντάς τες.

Έχουμε ξεχάσει πόσο πολύτιμη είναι η συνταγή του ψωμιού. Πρώτα απ' όλα, μειώνεται η αβεβαιότητα: με τη συνταγή, ο αρτοποιός ξέρει ότι το ψωμί, εκτός κι αν κάτι πάει στραβά, θα είναι έτοιμο για το δείπνο. Σαν διαδικασία δεν απαιτεί ούτε φαντασία ούτε ταλέντο. Για παράδειγμα, οι συγγραφείς αυτού του βιβλίου, χωρίς καμία κλίση στην αρτοποιία, μπορούν να βρουν στο διαδίκτυο μια συνταγή τσαπάτι και, ακολουθώντας τα βήματα πιο δημιουργικών και ικανών αρτοποιών, να φτιάξουν μόνοι τους μερικές πολύ καλές πίτες. Αυτή η συνταγή είναι μέρος της κληρονομιάς μας και για χιλιετίες περνούσε από γενιά σε γενιά.

Είναι όμως κι ένας αλγόριθμος, που μας βοηθάει να διατυπώσουμε έναν πρώτο ορισμό: ο αλγόριθμος είναι μια διαδικασία που μας επιτρέπει να επιλύουμε προβλήματα χωρίς να χρειάζεται κάθε φορά να εφευρίσκουμε λύσεις.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι από την αρχή της ανθρωπότητας δημιουργούσαμε, αξιοποιούσαμε και μοιραζόμασταν αλγορίθμους για δραστηριότητες όπως το μαγείρεμα, το πλέξιμο, το ψάρεμα και η καλλιέργεια φακής ή σιταριού.

Διαδικασίες και σύμβολα

Σε αντίθεση με τη συνταγή του ψωμιού, ορισμένοι αλγόριθμοι λύνουν προβλήματα που αφορούν γραπτά σύμβολα, όπως αριθμούς και γράμματα, τα οποία συνδυάζονται για να σχηματίσουν νούμερα, λέξεις, προτάσεις και κείμενα μεγάλης ποικιλίας νοημάτων.

Για παράδειγμα, ένας αλγόριθμος σχετικός με την αναζήτηση μιας λέξης στο λεξικό συνίσταται στο άνοιγμα του τόμου στη μέση, τη σύγκριση της επιθυμητής λέξης με τη διάμεση λέξη, την επιλογή του ενός ή του άλλου μισού τού λεξικού, ανάλογα με τη θέση του ζητούμενου όρου –πριν ή μετά τη διάμεση λέξη–, στο άνοιγμα ξανά στη μέση κ.ο.κ., μέχρι να βρεθεί ο όρος που αναζητάμε. Τούτος ο αλγόριθμος δίνει τη λύση σε ένα πρόβλημα που έχει να κάνει με γραπτά σύμβολα: τα γράμματα. Άλλοι μπορούν να προσθέτουν και να πολλαπλασιάζουν – επιλύουν, δηλαδή, προβλήματα που σχετίζονται επίσης με γραπτά σύμβολα: τους αριθμούς. Αυτού του είδους οι αλγόριθμοι ονομάζονται *συμβολικοί*.

Οι επιστήμονες των υπολογιστών περιορίζουν συχνά τη σημασία της λέξης *αλγόριθμος* σε αυτούς τους συμβολικούς αλγορίθμους. Έτσι, όμως, μας είναι δύσκολο να εντοπίσουμε τις απαρχές τους πριν από την επινόηση της γραφής. Γνωρίζουμε, ωστόσο, ότι η έννοια του αλγορίθμου είναι εξίσου παλιά με τη γραφή, αφού από τις πρωιμότερες γνωστές καταγραφές φαίνεται πως οι πρώτοι γραφείς χρησιμοποιούσαν ήδη αλγορίθμους πρόσθεσης και πολλαπλασιασμού για τη διατήρηση λογιστικών αρχείων. Ίσως στην πραγματικότητα η γραφή να εφευρέθηκε γι' αυτόν ακριβώς τον σκοπό.

Αλγόριθμοι και μαθηματικά

Οι μαθηματικοί ενδιαφέρθηκαν από πολύ νωρίς για την ανάπτυξη αλγορίθμων. Για παράδειγμα, ένας αλγόριθμος που αποδίδεται στον Ευκλείδη (περίπου 300 π.Χ.), και που αξίζει να τον μελετήσουμε, υπολογίζει τον μέγιστο κοινό διαιρέτη δύο ακέραιων αριθμών. Όσοι αναγνώστες βρίσκουν βαρετά τα Μαθηματικά μπορούν να προσπεράσουν αυτές τις γραμμές, ή να τις διαβάσουν όπως θα διάβαζαν ένα απόκρυφο ποίημα.*

Ένας αλγόριθμος δέχεται γενικά μία είσοδο, η οποία παρέχει τα συστατικά που πρέπει να «ζυμωθούν». Στην περίπτωση του ευκλείδειου αλγορίθμου, η είσοδος συνίσταται σε δύο μη μηδενικούς ακέραιους αριθμούς, a και b, με το a να είναι μεγαλύτερο του b: λ.χ. 471 και 90. Ένας αλγόριθμος παράγει επίσης μία έξοδο. Εν προκειμένω, ως έξοδος λογίζεται ένας ακέραιος αριθμός, που είναι ο μέγιστος κοινός διαιρέτης των a και b.

Η εφαρμογή του ευκλείδειου αλγορίθμου στους αριθμούς 471 και 90, για παράδειγμα, έχει ως εξής:

> αντικατάσταση των δύο αριθμών με 90 και 21,
> κατόπιν με 21 και 6,
> έπειτα με 6 και 3,
> και τέλος με το 3, που είναι το αποτέλεσμα.

---

* Όπως θα ασχολούνταν, δηλαδή, με οποιοδήποτε θέμα προϋποθέτει εξοικείωση ή απευθύνεται σε ένα «μυημένο» κοινό. (Σ.τ.Ε.)

Σε κάθε βήμα, ο αλγόριθμος υπολογίζει το υπόλοιπο r της διαίρεσης a διά b, και ακολούθως αντικαθιστά το a με το b και το b με το r. Έτσι, εφόσον $471 = 5 \times 90 + 21$, το υπόλοιπο της διαίρεσης του 471 διά του 90 ισούται με 21. Αρχικά, ο πρώτος αριθμός αντικαθίσταται από το 90, ο δεύτερος από το 21, κ.ο.κ. Υπάρχει, ωστόσο, μία εξαίρεση: όταν το υπόλοιπο είναι μηδέν, ο υπολογισμός σταματά και ως αποτέλεσμα έχουμε το b. Τούτο συμβαίνει στο τελευταίο βήμα: ο αριθμός 6 διαιρείται με το 3, το υπόλοιπο ισούται με μηδέν, και άρα το αποτέλεσμα είναι 3.

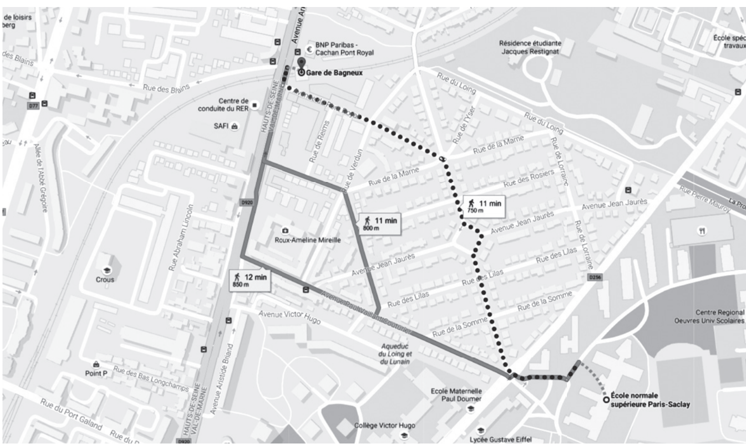
Η έννοια του αλγορίθμου απασχόλησε ιδιαίτερα και τους μαθηματικούς τού Μεσαίωνα, οι οποίοι εισηγήθηκαν το ινδοαραβικό σύστημα αρίθμησης και τους αντίστοιχους αλγορίθμους του. Μεταξύ αυτών, ο αραβόφωνος Πέρσης μαθηματικός Μοχάμεντ ιμπν Μουσά αλ-Χουαρίζμι, συγγραφέας του *Βιβλίου της πρόσθεσης και αφαίρεσης με βάση την ινδική αριθμητική*. Το όνομά του, Αλ Χουαρίζμι, σημαίνει «αυτός που κατάγεται από την περιοχή Χουαρέζμ», στο σημερινό Ουζμπεκιστάν, όπου και γεννήθηκε. Εξ ου και η λέξη *αλγόριθμος*, ο οποίος, στην αρχαϊκή του μορφή, πρωτοεμφανίζεται στα γαλλικά ήδη από το 1230, ως *augorisme*, και στη Μέση Αγγλική ως *algorism*.

Βρίσκοντας τις κατάλληλες λέξεις

Πέρα από τα μαθηματικά, όπου εφαρμόζονται εύκολα, οι αλγόριθμοι, χάρη στο εύρος των δυνατοτήτων τους, εμπλέκονται εξίσου σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Έχουμε ήδη αναφέρει κάποια παραδείγματα. Μια άλλη περίπτωση, αρκετά διαφορετική, θα μας επιτρέψει να διεξέλθουμε ένα βασικό θέμα: πώς περιγράφουμε έναν αλγόριθμο.

Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να πάμε από το μουσείο του Λούβρου στον πύργο του Άιφελ στο Παρίσι. Αρχικά βαδίζουμε προς τα δυτικά κατά μήκος της δεξιάς όχθης του Σηκουάνα, διασχίζουμε την πεζογέφυρα Λεοπόλντ Σεντάρ Σανγκόρ και ύστερα συνεχίζουμε το περπάτημα δυτικά και κατά μήκος της αριστερής όχθης, προς τον πύργο του Άιφελ. Κινούμαστε ίσως χωρίς να γνωρίζουμε ότι εκτελούμε έναν αλγόριθμο, μια διαδικασία που μας φέρνει από το Λούβρο στον πύργο του Άιφελ.

Οι χάρτες της Google παρέχουν αυτό τον αλγόριθμο μέσω γραφικής αναπαράστασης:



Υπό μορφή κειμένου, η διαδρομή ξεκινά ως εξής:

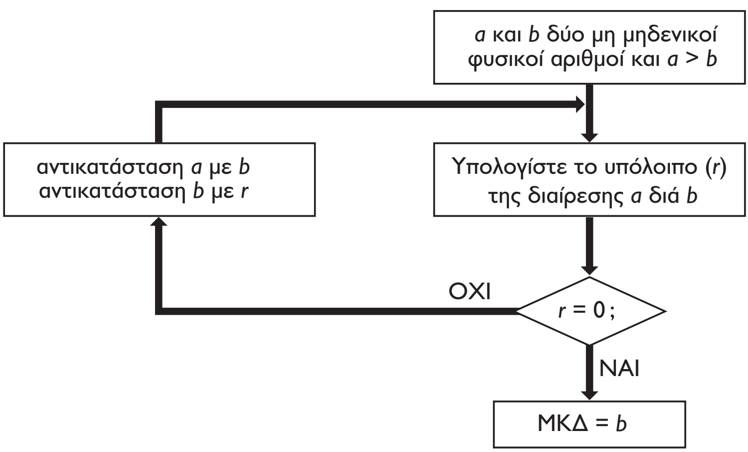
1. Κατευθυνθείτε νότια στη Λεωφόρο Aristide Briand/d920 προς τη Λεωφόρο du Pont Royal . . . 27 μ.
2. Κατευθυνθείτε αριστερά στη Λεωφόρο du Pont Royal . . . 260 μ.
3. Στρίψτε ελαφρώς προς τα δεξιά στη Λεωφόρο de Chateaubriand . . . 7 μ.
4. Κατευθυνθείτε δεξιά στη Λεωφόρο de Chateaubriand . . . 450 μ.
   ⊙ Διασχίστε τον κυκλικό κόμβο
5. Στρίψτε αριστερά . . . 33 μ.
   ⊙ Ο προορισμός σας βρίσκεται στα δεξιά

Αν εξηγούσαμε τούτο τον αλγόριθμο σε έναν Παριζιάνο, θα ήμασταν αρκετά πιο σύντομοι. Από την άλλη, αν απευθυνόμασταν σε έναν τουρίστα, θα ήμασταν πιο λεπτομερείς. Ο τρόπος έκφρασης των αλγορίθμων εξαρτάται από έναν κοινωνικό παράγοντα: τους εμπλεκόμενους και την κοινή τους γνώση.

Ομοίως, ο ευκλείδειος αλγόριθμος μπορεί να διατυπωθεί με τη μορφή κειμένου:

Υπολογίστε το υπόλοιπο r της διαίρεσης a διά του b,
    χωρίς το r να είναι ίσο με μηδέν,
        αντικαταστήστε το a με το b,
        αντικαταστήστε το b με το r,
        υπολογίστε το υπόλοιπο r της διαίρεσης a διά του b,
    το αποτέλεσμα είναι b.

Με ένα σχεδιάγραμμα της Wikipedia:



Ο αλγόριθμος, λοιπόν, μπορεί να εκφραστεί σε διαφορετικές γλώσσες, όμως υφίσταται ανεξαρτήτως αυτών. Ένας νυσταγμένος Παριζιάνος που κινείται μηχανικά προς τον πύργο του Άιφελ εκτελεί τον συγκεκριμένο αλγόριθμο χωρίς να χρειάζεται κάποια λεκτική διατύπωση. Για μια καλύτερη εξήγηση αυτής της περίπτωσης, που ενδεχομένως προκαλεί σύγχυση, προσφέρεται ένα άλλο παράδειγμα.

Τα μυρμήγκια που αναζητούν τροφή χρησιμοποιούν έναν αρκετά ανεπτυγμένο αλγόριθμο χωρικού προσανατολισμού. Αρχικά, οι «ανιχνευτές» περιφέρονται άτακτα γύρω από τη μυρμηγκοφωλιά. Όταν κάποιο απ᾽ αυτά βρίσκει μια πηγή τροφής, γυρίζει πίσω στην αποικία, αφήνοντας ίχνη από φερομόνες. Όσα μυρμήγκια βρίσκονται κοντά έλκονται από τις φερομόνες και ενθαρρύνονται να ακολουθήσουν το στίγμα του. Έχοντας επιστρέψει στη μυρμηγκοφωλιά με φαγητό, αφήνουν κι αυτά φερομόνες, συμβάλλοντας στη χάραξη της διαδρομής.

Αν υπάρχουν δύο πιθανές διαδρομές προς την ίδια πηγή τροφής, τα μυρμήγκια που θα επιλέξουν τη συντομότερη θα κάνουν στο ίδιο χρονικό διάστημα περισσότερα δρομολόγια μετ' επιστροφής από εκείνα που ακολουθούν τη μακρύτερη, αφήνοντας έτσι περισσότερες φερομόνες. Τα ίχνη της συντομότερης οδού θα γίνουν εντονότερα, κι αυτή θα αποτελέσει την ελκυστικότερη επιλογή. Λόγω της πτητικής φύσης των φερομονών, τα ίχνη της μεγαλύτερης διαδρομής τελικά θα χαθούν.

Συνεπώς, οι αποικίες μυρμηγκιών χρησιμοποιούν έναν πολύπλοκο αλγόριθμο προκειμένου να ορίσουν τη συντομότερη διαδρομή – διαδικασία που ακολουθούσαν πολύ προτού την ανακαλύψουν οι μυρμηγκολόγοι.

Εκείνο που μας διαχωρίζει από τα μυρμήγκια είναι ότι προσπαθούμε να περιγράψουμε, να απομνημονεύσουμε, να μεταδώσουμε, να κατανοήσουμε και να βελτιώσουμε τους αλγορίθμους μας. Παρ' όλα αυτά, συχνά χρησιμοποιούμε αλγορίθμους που αδυνατούμε να περιγράψουμε. Πολύ εύκολα διακρίνουμε τον σκύλο από τη γάτα, όμως μας είναι δύσκολο να εξηγήσουμε τον τρόπο που τα καταφέρνουμε. Ξεκινάμε από τα πόδια ή από τ' αφτιά; Εξετάζουμε το σχήμα της κεφαλής ή το τρίχωμα;

Για την όραση και την κίνηση, ο εγκέφαλος και το κορμί μας χρησιμοποιούν πολλούς αλγορίθμους, συμβολικούς ή μη, τους οποίους δεν είμαστε πάντοτε σε θέση να ερμηνεύσουμε.

Πέρα από την ακολουθία εντολών

Ο αλγόριθμος για τη μετακίνηση από το Λούβρο στον πύργο του Άιφελ εκφράζεται ως μια αλληλουχία στοιχειωδών πράξεων, όπως: «κατευθυνθείτε νότια προς την αυλή του Ναπολέοντα και την πυραμίδα του Λούβρου», μετά αυτό, μετά εκείνο, μετά το άλλο. Το ίδιο και η διατύπωση του ευκλείδειου αλγορίθμου εμπεριέχει στοιχειώδεις οδηγίες, όπως η *ανάθεση* τιμής «αντικατάστησε το *a* με το *b*», αλλά και δομές για τη συσχέτισή τους, όπως η *ακολουθία* «εκτέλεσε αυτό, μετά αυτό» και ο *βρόχος* «εφόσον αυτό είναι αληθές, επανάλαβε αυτό». Θα μπορούσαμε επίσης να προσθέσουμε την *επιλογή*: «εάν αυτό είναι αληθές, κάνε αυτό».

Μοιάζει απίθανο, όμως ελάχιστες δομές είναι απαραίτητες για τη διατύπωση όλων των συμβολικών αλγορίθμων, όπως οι τέσσερις που αναφέραμε: ανάθεση, ακολουθία, βρόχος και επιλογή. Ο ποικιλία των αλγορίθμων δεν προκύπτει από την πολυπλοκότητα των στοιχείων τους, αλλά από τον τρόπο συναρμογής των απλούστερων μερών τους.

Ο αναγνώστης μπορεί να τους παρομοιάσει με τα δισεκατομμύρια γνωστά μόρια, που συνίστανται από λίγα μόλις χημικά στοιχεία, αποτελούμενα κι αυτά από τρία στοιχειώδη σωματίδια: πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια.

Όσο επαρκή κι αν είναι αυτά τα στοιχεία στη θεωρία, στην πράξη σπάνια δημιουργούμε αλγορίθμους ξεκινώντας από το μηδέν. Ως συστατικά τους λαμβάνονται συχνά άλλοι, ήδη γνωστοί αλγόριθμοι. Περιγράψαμε, λ.χ., έναν αλγόριθμο για τη μετακίνηση από το Λούβρο στον πύργο του Άιφελ. Αν θέλαμε να πάμε από το Μουσείο Πικάσο στον πύργο του Άιφελ, ένας απλός αλγόριθμος θα ήταν να περπατήσουμε από το Μουσείο στο Λούβρο και, στη συνέχεια, να χρησιμοποιήσουμε τον προηγούμενο αλγόριθμο, αντιμετωπίζοντάς τον ως ξεχωριστή περίπτωση. Αναπτύσσοντας αυτό τον νέο αλγόριθμο, μπορούμε να αγνοήσουμε τις λεπτομέρειες του προηγούμενου, ερμηνεύοντάς τον απλώς ως μια καινούργια στοιχειώδη οδηγία.

Αλγόριθμοι και δεδομένα

Οι αλγόριθμοι για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με συμβολικές πληροφορίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο έκθεσης των πληροφοριών. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολύ πιο εξελιγμένοι αλγόριθμοι για τον υπολογισμό της πρόσθεσης και του πολλαπλασιασμού αραβικών αριθμών (123 × 456), παρά λατινικών (CXXIII και CDLVI). Ομοίως, είναι ευκολότερη η αναζήτηση μιας λέξης στο λεξικό ακολουθώντας το αλφαβητικό σύστημα γραφής, παρά ένα ιδεογραφικό.

Οι αλγόριθμοι εύρεσης διαδρομών για τη μετάβαση από το ένα σημείο στο άλλο επηρεάζονται εξίσου από την παρουσίαση των δεδομένων. Αν ένας αστικός χάρτης αποτελείται από διαδοχικά pixel,* όπως μια φωτογραφία, η πλοήγηση με αυτόν θα είναι δύσκολη. Περισσότερο αποδοτική είναι μια αφηρημένη περιγραφή, μια σειρά από σταυροδρόμια συγκεκριμένου μήκους, που συνδέονται με δρόμους. Με αυτό τον τρόπο, αντί ο αλγόριθμος να μεταβαίνει αργά από το ένα pixel στο άλλο, μπορεί να μεταπηδά από διασταύρωση σε διασταύρωση.

Αλγοριθμικές τεχνικές

Γνωρίζουμε πολλούς αλγορίθμους, αλλά και αλγοριθμικές τεχνικές που συγκροτούν αρκετούς από αυτούς, όπως: *διαίρει και βασίλευε*, *παραγωγή και δοκιμή*, *άπληστοι αλγόριθμοι* ή *τυχαιοποίηση*.

Η προσέγγιση του *διαίρει και βασίλευε* συνίσταται στην επίλυση ενός προβλήματος με τη διαίρεσή του σε δύο απλούστερα, τα οποία, ενδεχομένως, λύνονται με την ανάλυσή τους σε περαιτέρω προβλήματα κ.ο.κ., μέχρι η λύση του αρχικού προβλήματος να δοθεί από τις συνδυαστικές λύσεις των δύο αυτών προβλημάτων. Ο Ντόναλντ Κνουθ παραλληλίζει την εν λόγω τεχνική με τη διανομή αλληλογραφίας: οι επιστολές ταξινομούνται σε ξεχωριστές στοίβες για κάθε γειτονιά της πόλης. Στη συνέχεια, κάθε ταχυδρόμος, υπεύθυνος για μια γειτονιά, τις χωρίζει σε πολλές μικρότερες στοίβες για κάθε κτίριο, και

---

* Ο όρος *pixel* στα ελληνικά αποδίδεται ως «εικονοστοιχείο». Στη συνέχεια, ωστόσο, θα χρησιμοποιείται ο αγγλικός όρος. (Σ.τ.Μ.)

Donald Knuth

Ο Ντόναλντ Έρβιν Κνουθ (γεννήθηκε το 1938) είναι από τους σημαντικότερους επιστήμονες των υπολογιστών και πρωτοπόρος της σύγχρονης αλγοριθμικής. Το έργο του *Η τέχνη του προγραμματισμού υπολογιστών* (*The art of computer programming*) υπήρξε για χρόνια σημείο αναφοράς.

Απογοητευμένος από τα ήδη διαθέσιμα εργαλεία επεξεργασίας κειμένου, δημιούργησε τα ευρείας χρήσης λογισμικά ανοιχτού κώδικα TeX και Metafont.

Το όνομά του έχει δοθεί σε πολλούς γνωστούς αλγορίθμους, όπως ο Knuth-Morris-Pratt, ο αλγόριθμος X του Κνουθ, ο Robinson-Schensted-Knuth και ο αλγόριθμος ολοκλήρωσης Knuth-Bendix.

ο θυρωρός τού εκάστοτε κτιρίου τις ταξινομεί σε ακόμα μικρότερες για κάθε διαμέρισμα.

Η τεχνική της *παραγωγής και δοκιμής* συνίσταται στην επίλυση ενός προβλήματος με παράθεση όλων των πιθανών λύσεων και τη δοκιμή τους μία προς μία. Για παράδειγμα, ένας πλανόδιος πωλητής που πρέπει να επισκεφτεί πελάτες του σε διάφορες πόλεις συνήθως οργανώνει τη διαδρομή του κατά τέτοιον τρόπο ώστε να μειώνεται η συνολική απόσταση που έχει να διανύσει. Ένας αλγόριθμος για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής περιλαμβάνει τον υπολογισμό όλων των πιθανών διαδρομών –στους δέκα πελάτες, λ.χ., αντιστοιχούν 3.628.800–, υπολογίζοντας το μήκος της καθεμιάς και στη συνέχεια επιλέγοντας τη μικρότερη.

Οι *άπληστοι αλγόριθμοι* βρίσκουν λογικές λύσεις σε προβλήματα βελτιστοποίησης, όταν οι αλγόριθμοι παραγωγής και δοκιμής απαιτούν πολλούς υπολογισμούς. Για παράδειγμα, ένας πλανόδιος πωλητής με είκοσι πελάτες, κάνοντας χρήση της τεχνικής παραγωγής και δοκιμής, θα έπρεπε να δοκιμάσει περισσότερες από δύο δισεκατομμύρια δισεκατομμύρια πιθανές διαδρομές. Αντί μιας τόσο εξαντλητικής απαρίθμησης, χρήσιμος θα ήταν ένας αλγόριθμος αναζήτησης, που θα πηγαίνει από την πλησιέστερη πόλη στην αμέσως πιο κοντινή, κατόπιν στην πόλη που βρίσκεται εγγύτερα της επόμενης πλησιέστερης κ.ο.κ.

Ένας τέτοιος αλγόριθμος «καταπίνει» λαίμαργα τα χιλιόμετρα, χωρίς να λαμβάνει υπ' όψιν τις προηγούμενες επιλογές. Δίνεται, έτσι, μια «λογική» λύση, αν κι όχι πάντοτε η καλύτερη δυνατή.

Είδαμε ήδη ένα παράδειγμα τυχαιοποίησης σε έναν αλγόριθμο: προκειμένου να βρουν τροφή, οι «ανιχνευτές» ξεκινούν με τυχαίες περιφορές γύρω από τη μυρμηγκοφωλιά. Τυχαίο σημείο εκκίνησης χρησιμοποιούν εξίσου πολλοί άλλοι αλγόριθμοι, όπως ο Monte Carlo, που ορίζει το εμβαδόν ενός σύνθετου σχήματος μέσα σε ένα τετράγωνο. Η επιλογή των σημείων στο τετράγωνο γίνεται τυχαία, για παράδειγμα ρίχνοντας βελάκια. Σύμφωνα με τον νόμο των μεγάλων αριθμών, τα σημεία αυτά θα βρίσκονται στα όρια του σχήματος με συχνότητα κοντά στην αναλογία του εμβαδού του σχήματος προς το εμβαδόν του τετραγώνου.

Μηχανική μάθηση

Η τελευταία τεχνική που θα συζητήσουμε είναι η *μάθηση*. Μας φαίνεται γνώριμη η περίπτωση ενός ατόμου που μαθαίνει να ψήνει ψωμί ή να αναζητά μια λέξη στο λεξικό, αλλά μεγαλύτερη εντύπωση μας προκαλεί το γεγονός ότι ένας αλγόριθμος μπορεί εξίσου να μαθαίνει. Όπως ένας αρτοποιός εξασκείται εμπειρικά και βελτιώνεται καθημερινά, έτσι και ένας αλγόριθμος μπορεί να μαθαίνει επαναλαμβάνοντας την ίδια εργασία και κάθε φορά να γίνεται καλύτερος.

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν οι αλγόριθμοι συστάσεων σε πλατφόρμες μουσικής, βίντεο και βιβλίων. Τα συστήματα αυτού του είδους κάνουν συστάσεις, όπως: «Σας άρεσε ο *Βασιλιάς Αρθούρος*, ίσως σας αρέσει και ο *Πίτερ Γκράιμς*». Προκειμένου να σχηματίσει την πρόταση, το σύστημα δεν βασίζεται στις γνώσεις του για τη σχέση των Χένρυ Πέρσελ και Μπέντζαμιν Μπρίτεν, παρά, απλούστερα, στην ανάλυση των επιλογών προηγούμενων χρηστών και στο γεγονός ότι, μεταξύ εκείνων που άκουσαν τον *Βασιλιά Αρθούρο*, υπάρχουν αρκετοί που άκουσαν τον *Πίτερ Γκράιμς*. Εναλλακτικά, ο αλγόριθμος προσπαθεί να βρει χρήστες –πιθανότατα άγνωστους σε εμάς– των οποίων τα γούστα συμπίπτουν με τα δικά μας. Και στις δύο περιπτώσεις, ο αλγόριθμος μαθαίνει, ανακαλύπτοντας στατιστικές συγκλίσεις μεταξύ μουσικών κομματιών ή χρηστών. Βάσει αυτής της διαδικασίας, προβλέπει τι θα μπορούσε να μας αρέσει και, συνεπώς, τι θα μας έβαζε στον πειρασμό να ακούσουμε ή να αγοράσουμε.

Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι παρέχουν μια νέα θεώρηση του τρόπου με τον οποίο οι ίδιοι μαθαίνουμε. Οι αλγόριθμοι συστάσεων ανακαλύπτουν τις σχέσεις μεταξύ Πέρσελ και Μπρίτεν χωρίς προηγούμενη γνώση της ιστορίας της μουσικής – απλώς παρατηρώντας τις επιλογές μας και μαθαίνοντας από αυτές. Τούτο ελάχιστα διαφέρει από τον τρόπο με τον οποίο ένα παιδί μαθαίνει τη μητρική του γλώσσα, παρατηρώντας και μιμούμενο τους άλλους, αλλά και ξοδεύοντας αρκετό χρόνο μιλώντας, χωρίς να κατανοεί τη γραμματική, τις κλίσεις των ρημάτων και των ουσιαστικών. Όπως ένα παιδί ξέρει ότι δεν πρέπει να λέει «θα πήγα στο σχολείο» αντί «πήγα στο σχολείο» –αδυνατώντας, ωστόσο, να εξηγήσει το γιατί–, ένας αλγόριθμος συστάσεων θα μπορεί να προτείνει τον Μπέντζαμιν Μπρίτεν χωρίς να ξέρει τον λόγο που ο συνθέτης αυτός ενδέχεται να μας αρέσει.

Ορισμένα μαθησιακά προβλήματα είναι δύσκολο να επιλυθούν. Λόγου χάρη, στην προσπάθεια να αναγνωρίσουμε αντικείμενα –έναν σκύλο, μια γάτα, ένα τραπέζι– σε μια εικόνα pixel προς pixel, μια στατιστική ανάλυση που μετρά το πλήθος των μαύρων ή μπλε pixel δύσκολα θα ξεχώριζε έναν σκύλο από ένα τραπέζι. Χρειαζόμαστε πολυπλοκότερους αλγορίθμους μάθησης, τους λεγόμενους *αλγορίθμους βαθιάς μάθησης*, οι οποίοι προσπαθούν αρχικά να εντοπίσουν σχήματα στην εικόνα –ευθείες γραμμές, κύκλους, νύχια, πατούσες, πόδια– και στη συνέχεια ακόμα πιο περίπλοκα αντικείμενα. Βαθμηδόν, ένας αλγόριθμος κατασκευάζει με αυτό τον τρόπο όλο και πιο αφηρημένες εκδοχές της εικόνας, ώσπου να μπορούν να αναγνωριστούν τα αντικείμενα της αναζήτησης. Μια δυσκολία έγκειται στο να γνωρίζουμε ποια στοιχεία –νύχια, πατούσες, πόδια κ.λπ.– πρέπει να αναγνωριστούν. Ωστόσο, ο αλγόριθμος το μαθαίνει από μόνος του. Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης βοήθησαν στη βελτίωση προγραμμάτων που παίζουν το παιχνίδι Γκο, τα οποία, μάλιστα, φτάνουν στο σημείο να νικούν και τους καλύτερους παίκτες.