

Ανακαλύπτοντας το παρελθόν με την «Ιθάκη»

Αποκατάσταση, εντοπισμός τόπου γραφής και χρονολόγηση αρχαίων κειμένων με τη συνεργασία Ιστορικών και Τεχνητής Νοημοσύνης

Κύριοι ερευνητές: Γιάννης Ασσαέλ^{1,*}, Thea Sommerschild^{2,3*}

Επιστημονική ομάδα: Brendan Shillingford¹, Mahyar Bordbar¹, Ιωάννης Παυλόπουλος⁴, Μαρίτα Χατζηπαναγιώτου⁴, Ίων Ανδρουτσόπουλος⁴, Jonathan Prag⁵, Nando de Freitas¹

¹ DeepMind, United Kingdom; ² Ca' Foscari University of Venice, Italy; ³ Center for Hellenic Studies, Harvard University, USA; ⁴ Athens University of Economics and Business, Greece; ⁵ University of Oxford, United Kingdom

Η εμφάνιση της γραφής ήταν ένα κομβικής σημασίας γεγονός στην ανθρώπινη ιστορία και σημαντικό γεγονός για την κατανόηση της φύσης μας και του κόσμου που ζούμε σήμερα. Οι αρχαίοι Έλληνες πριν από 2.500 χρόνια και περισσότερο άρχισαν να γράφουν σε πέτρα, αγγεία και χαλκό καταγράφοντας μισθώσεις, νόμους, ημερολόγια, χρησμούς κ.α., προσφέροντας μας με αυτόν τον τρόπο μια λεπτομερή εικόνα ολόκληρης της περιοχής της Μεσογείου. Τα διασωθέντα αρχεία όμως είναι ελλιπή. Πολλά διασωθέντα κείμενα βρίσκονται σε επιγραφές, οι οποίες έχουν υποστεί αλλεπάλληλες φθορές στο πέρασμα των αιώνων και κομμάτια τους έχουν καταστραφεί, ενώ άλλες φορές έχουν μετακινηθεί από την αρχική τους θέση. Οι σύγχρονες τεχνικές χρονολόγησης, όπως η [ραδιοχρονολόγηση άνθρακα-14](#), δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτά τα υλικά, καθιστώντας τη μελέτη των επιγραφών δύσκολη και χρονοβόρα.

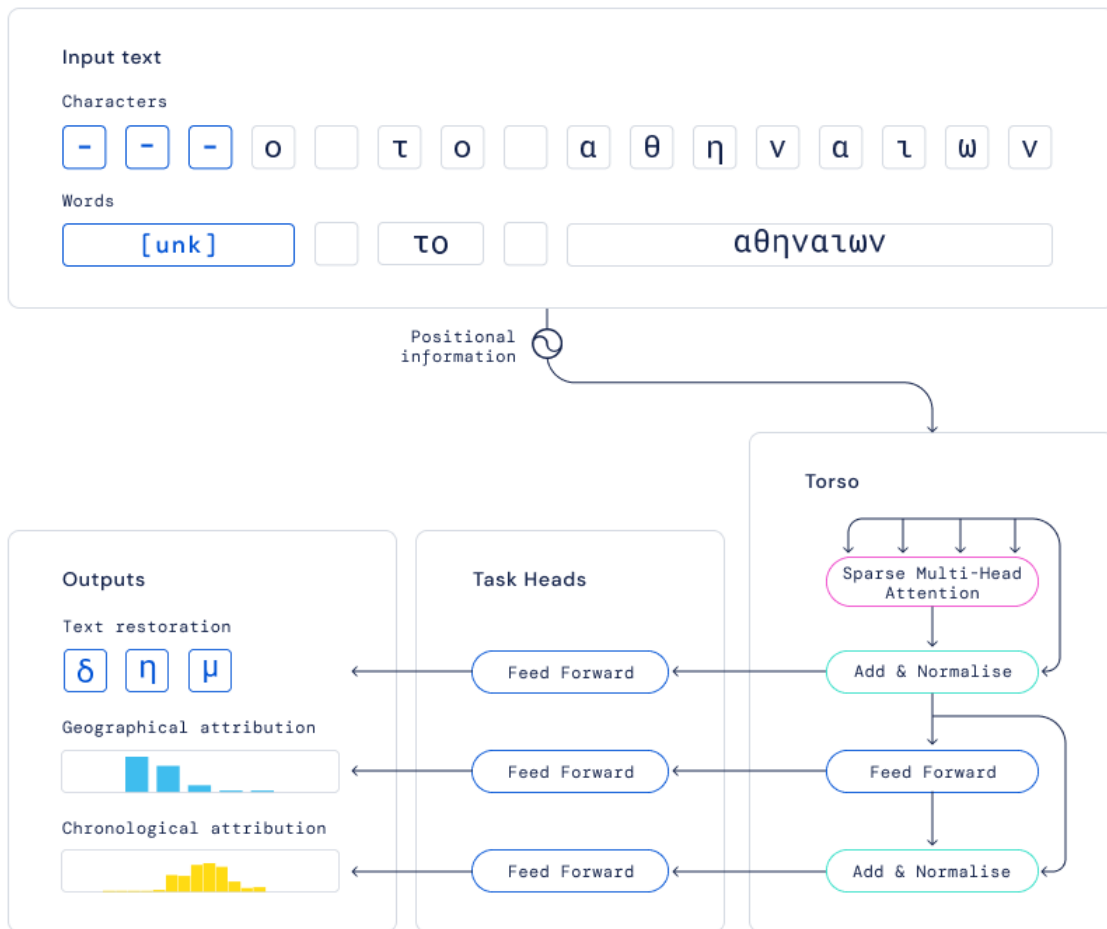
Ακολουθώντας τους στόχους και την [αποστολή της DeepMind](#) να συμβάλει στο έργο της επιστήμης και να προσφέρει στην ανθρωπότητα, συνεργαστήκαμε με το [Τμήμα Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Ca' Foscari της Βενετίας](#), τη [Σχολή Κλασικών Σπουδών του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης](#) και το [Τμήμα Πληροφορικής του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών](#) για να εξερευνήσουμε τρόπους, με τους οποίους οι τελευταίες εξελίξεις της Τεχνητής Νοημοσύνης θα βοηθήσουν τους ιστορικούς στην ερμηνεία των επιγραφών. Στόχος είναι η επίτευξη μιας βαθύτερης κατανόησης της αρχαίας ιστορίας με τη συνεργασία Τεχνητής Νοημοσύνης και Ιστορικών.

Στο επιστημονικό [άρθρο](#) που δημοσιεύτηκε σήμερα στο περιοδικό Nature, παρουσιάζουμε από κοινού την Ιθάκη (Ithaca), το πρώτο Νευρωνικό Δίκτυο για την α) αποκατάσταση κειμένου κατεστραμμένων επιγραφών και τον προσδιορισμό β) του τόπου και γ) της χρονολογίας γραφής τους. Η Ιθάκη πήρε την ονομασία της από την Ελληνική Μυθολογία και την επιστροφή του Οδυσσέα στον τόπο του. Είναι επέκταση της [Πυθίας](#), του προγενέστερου μοντέλου Τεχνητής Νοημοσύνης που παρουσιάσαμε το 2019 με αποκλειστική λειτουργία την αποκατάσταση κειμένων. Η πειραματική αξιολόγηση δείχνει ότι η Ιθάκη επιτυγχάνει ακρίβεια 62% στην αποκατάσταση κατεστραμμένων κειμένων, 71% ακρίβεια στην αναγνώριση της αρχικής τους θέσης και μπορεί να χρονολογήσει τα κείμενα εντός 30 ετών από το εύρος ημερομηνιών που δίνουν οι Ιστορικοί. Οι Ιστορικοί της ομάδας μας έχουν ήδη χρησιμοποιήσει την Ιθάκη επανεξετάζοντας σημαντικές περιόδους της αρχαίας Ελληνικής ιστορίας.

Για να κάνουμε το συγκεκριμένο μοντέλο Τεχνητής Νοημοσύνης ευρέως διαθέσιμο σε ερευνητές, εκπαιδευτικούς, και μουσεία, συνεργαστήκαμε με το [Google Cloud](#) και το [Google Arts & Culture](#) και δημιουργήσαμε έναν [διαδραστικό ιστοχώρο \(ithaca.deepmind.com\)](#) ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Ιθάκη στην έρευνά τους. Επιπλέον, για να βοηθήσουμε μελλοντικές διεπιστημονικές έρευνες, έχουμε κάνει τον [πηγαίο κώδικα δωρεάν διαθέσιμο](#), όπως και το "εκπαιδευμένο" μοντέλο, και ένα διαδραστικό Colaboratory notebook.



Εικόνα 1. Ανάκτηση του κειμένου της επιγραφής IG I³ 4B, η οποία καταγράφει διάταγμα που αφορά την Ακρόπολη της Αθήνας το 485/4 π.Χ. (CC BY-SA 3.0, WikiMedia).



Εικόνα 2. Η αρχιτεκτονική της Ιθάκης. Τα κατεστραμμένα μέρη ενός κειμένου αντιπροσωπεύονται με μια παύλα "-". Εδώ, κρύψαμε τεχνητά τους χαρακτήρες "δη.". Η Ιθάκη επαναφέρει το κείμενο και προσδιορίζει τον χρόνο και τον τόπο στον οποίο γράφτηκε.

Συνεργασία Ιστορικών και Τεχνητής Νοημοσύνης

Η Ιθάκη εκπαιδεύτηκε στα δεδομένα του μεγαλύτερου ψηφιακού αρχείου αρχαίων Ελληνικών επιγραφών από το [Packard Humanities Institute](#). Τα μοντέλα της Τεχνητής Νοημοσύνης για [επεξεργασία γλώσσας](#) εκπαιδεύονται συνήθως εισάγοντας προτάσεις σε μορφή λέξεων, καθώς η σειρά με την οποία εμφανίζονται στις προτάσεις και οι σχέσεις μεταξύ τους καθορίζουν την σημασία και το νόημα. Για παράδειγμα, το «άνδρα μοι ἔννεπε, μοῦσα, πολύτροπον» ως σύνολο έχει περισσότερο νόημα από κάθε λέξη, και ακόμα περισσότερο από κάθε χαρακτήρα, ξεχωριστά. Ωστόσο, πολλές επιγραφές είναι κατεστραμμένες και συχνά λείπουν κομμάτια κειμένου. Για να διασφαλίσουμε ότι η Ιθάκη εξακολουθεί να λειτουργεί ακόμα και όταν λέξεις είναι μισοκατεστραμμένες, χρησιμοποιούμε και λέξεις και μεμονωμένους χαρακτήρες ως είσοδο. Τέλος, ο μηχανισμός στον πυρήνα του μοντέλου Τεχνητής Νοημοσύνης αξιολογεί αυτές τις δύο εισόδους παράλληλα, και έτσι επιτρέπει στην Ιθάκη να τις εναλλάσσει ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε περίπτωσης.

TEXT RESTORATION
Athens 361/O BCE

Input text θεοι επι νικοφημο αρχοντος ----- ια αθηναιων και θετταλων εις τον αιι χρονον

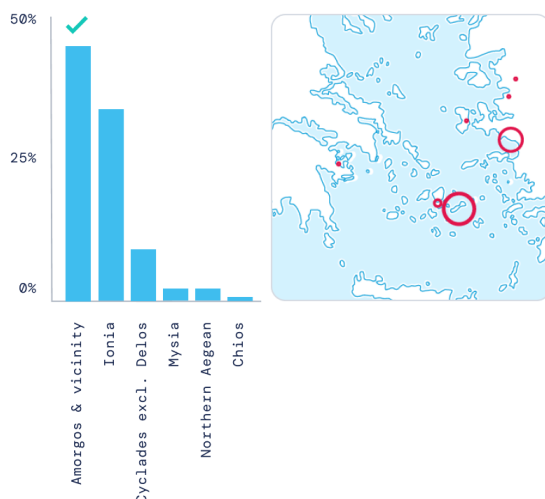
Restorations (ranked by probability):

01 % θεοι επι νικοφημο αρχοντος **συμμαχ** ια αθηναιων και θετταλων εις τον αιι χρονον ✓

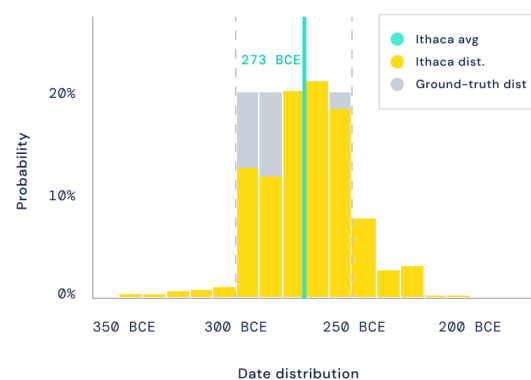
02 % θεοι επι νικοφημο αρχοντος **εκκλησ** ια αθηναιων και θετταλων εις τον αιι χρονον

03 % θεοι επι νικοφημο αρχοντος **προξεν** ια αθηναιων και θετταλων εις τον αιι χρονον

GEOGRAPHICAL ATTRIBUTION
Amorgos 400-300 BCE



CHRONOLOGICAL ATTRIBUTION
Delos 300/250 BCE



Εικόνα 3. Παραδείγματα προτάσεων της Ιθάκης. (α) Προτάσεις αποκατάστασης κειμένου για 6 χαρακτήρες που λείπουν (παύλες) σε μια Αθηναϊκή επιγραφή (IG II² 116). Η πιο πιθανή αποκατάσταση, με πράσινο χρώμα, είναι σωστή («συμμαχία»). Αξίζει να σημειωθεί πώς οι ακόλουθες υποθέσεις («έκκλησία» και «προξενία») που επισημαίνονται με κόκκινο, εμφανίζονται

συνήθως στα Αθηναϊκά πολιτικά διατάγματα, δείχνοντάς μας την ικανότητα της Ιθάκης να προσαρμοστεί στα δεδομένα. (β) Εντοπισμός τόπου γραφής επιγραφής από την Αμοργό (IG XII 7, 2). Η πιο πιθανή πρόταση της Ιθάκης είναι σωστή και οι πιο κοντινές προβλέψεις είναι οι γειτονικές περιοχές. (γ) Χρονολόγηση επιγραφής από τη Δήλο (IG XI 4, 579). Η επιγραφή χρονολογείται από τους ιστορικούς μεταξύ του 300-250 π.Χ. (με γκρι χρώμα). Οι προβλέψεις της Ιθάκης ανά δεκαετία είναι με κίτρινο χρώμα και έχουν μέση τιμή το 273 π.Χ. (με πράσινο).

Προκειμένου η Ιθάκη να χρησιμοποιηθεί ως ερευνητικό εργαλείο, δημιουργήσαμε μια σειρά οπτικών βοηθημάτων για να διασφαλίσουμε ότι οι προτάσεις του μοντέλου είναι εύκολα ερμηνεύσιμες από τους ιστορικούς:

- **Αποκατάσταση κειμένου:** Η Ιθάκη προτείνει πολλαπλές υποθέσεις για την αποκατάσταση ενός κειμένου, έτσι ώστε οι ιστορικοί να επιλέξουν χρησιμοποιώντας τις γνώσεις τους.
- **Εντοπισμός του τόπου γραφής:** Η Ιθάκη υποδεικνύει μια κατανομή πιθανοτήτων για όλους τους ενδεχόμενους τόπους γραφής— αντί ενός μόνο αποτελέσματος. Έτσι, προτείνει πιθανότητες για 84 διαφορετικές αρχαίες περιοχές και οπτικοποιεί τα αποτελέσματα σε έναν χάρτη ώστε να ρίξει φως και να αναδείξει πιθανές υποκείμενες γεωγραφικές συνδέσεις του αρχαίου κόσμου.
- **Χρονολόγηση:** Για τη χρονολόγηση ενός κειμένου η Ιθάκη παράγει μια κατανομή πιθανοτήτων για όλες δεκαετίες από το 800 π.Χ. έως το 800 μ.Χ. Αυτό επιτρέπει τους ιστορικούς να οπτικοποιήσουν τις υποθέσεις του μοντέλου για συγκεκριμένα εύρη ημερομηνιών.
- **Χάρτες σημασίας (saliency maps):** Για να "εξηγήσει" τα αποτελέσματα στους ιστορικούς, η Ithaca χρησιμοποιεί μια τεχνική υπόδειξης των τμημάτων του κειμένου που συμβάλλουν περισσότερο σε κάθε πρόβλεψη. Οι σημαντικές λέξεις υπογραμμίζονται σε διαφορετικές χρωματικές εντάσεις ανάλογα με την σημασία τους στην εκάστοτε πρόταση.

Input text

θεοι επι νικοφημο αρχοντος -----ια αθηναιων και θετταλων εις τον αιει χρονον

Restored characters (per step)

“μ”	θεοι επι νικοφημο αρχοντος ---μ--ια	αθηναιων	και	θετταλων	εις τον αιει χρονον
“χ”	θεοι επι νικοφημο αρχοντος ---μ-χια	αθηναιων	και	θετταλων	εις τον αιει χρονον
“υ”	θεοι επι νικοφημο αρχοντος -υ-μ-χια	αθηναιων	και	θετταλων	εις τον αιει χρονον
“σ”	θεοι επι νικοφημο αρχοντος ου-μ-χια	αθηναιων	και	θετταλων	εις τον αιει χρονον
“μ”	θεοι επι νικοφημο αρχοντος ουμ-χια	αθηναιων	και	θετταλων	εις τον αιει χρονον
“α”	θεοι επι νικοφημο αρχοντος ουμαχια	αθηναιων	και	θετταλων	εις τον αιει χρονον

Translation

“Gods. In the archonship of Nikophemos. Alliance of the Athenians and Thessalians for all time”

Εικόνα 4. Αυτό η επιγραφή (IG II² 116, Αθήνα 361/0 π.Χ.) καταγράφει μια συμμαχία μεταξύ της Αθήνας και της Θεσσαλίας. Χρησιμοποιώντας χάρτες σημασίας (saliency maps), μπορούμε να

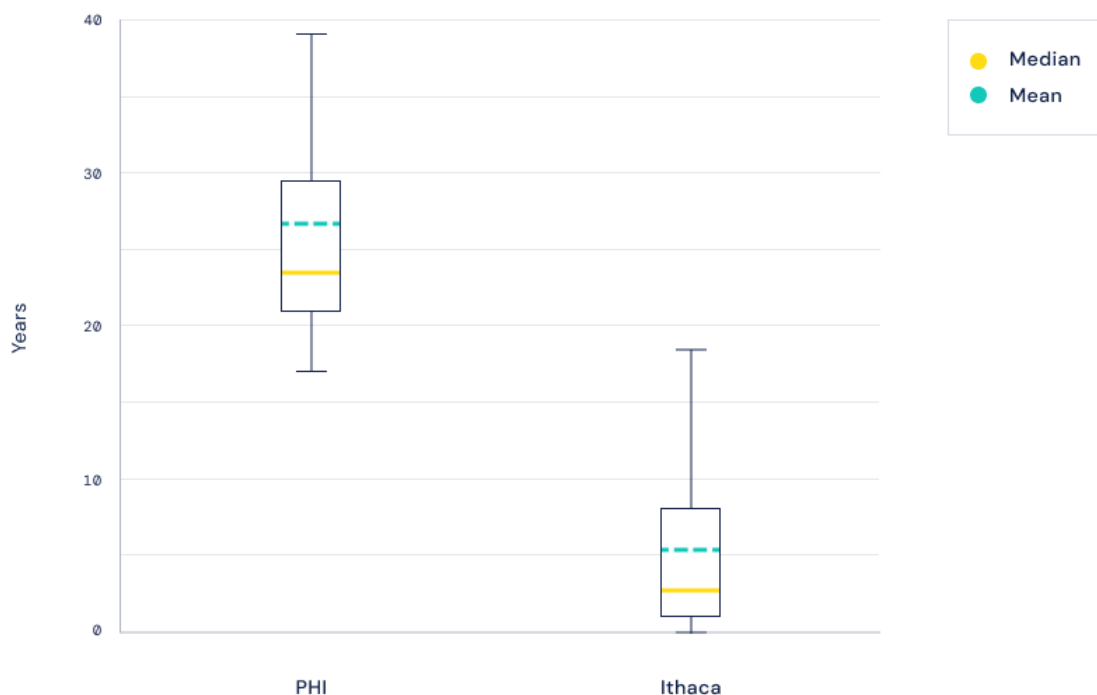
δούμε ότι η Ιθάκη «εστιάζει» στις σημαντικές λέξεις «Αθηναίων» και «Θετταλών» κατά την αποκατάσταση της κατεστραμμένης λέξης «συμμαχία».

Η χρησιμότητα στο έργο των Ιστορικών

Τα αποτελέσματα της μελέτης μας επιβεβαιώνουν πως οι προτάσεις της Ιθάκης μπορούν να διευκολύνουν το δύσκολο έργο των ερευνητών. Οι Επιγραφολόγοι Ιστορικοί με τους οποίους εργαστήκαμε είχαν 25% ακρίβεια όταν εργάζονταν μόνοι τους για την αποκατάσταση αρχαίων κειμένων. Όμως, χρησιμοποιώντας την Ιθάκη, η απόδοσή τους αυξάνεται στο 72%, ξεπερνώντας την απόδοση της ίδιας της Ιθάκης, δείχνοντας πόσο σημαντική είναι η συνεργασία ανθρώπου και τεχνητής νοημοσύνης στη μελέτη της ιστορίας. Επιπρόσθετα, η τεχνολογία αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ρίξει φως σε υπάρχουσες θεωρίες και υποθέσεις.

Για παράδειγμα, αρκετοί Ιστορικοί σήμερα διαφωνούν σχετικά με τη χρονολόγηση μιας σειράς σημαντικών [Αθηναϊκών διατάγμάτων](#) που εκδόθηκαν σε μια από τις πλέον σημαίνουσες ιστορικές περιόδους της Αθήνας, στην εποχή του Σωκράτη και του Περικλή. Παλαιότερα τα διατάγματα αυτά θεωρούνταν ότι γράφτηκαν πριν από το 446/445 π.Χ., αν και νέα στοιχεία υποδεικνύουν ως πιο πιθανή χρονολογία το 420 π.Χ. Μπορεί να φαίνεται μικρή αυτή η διαφορά, ωστόσο τα διατάγματα αυτά είναι θεμελιώδη για την κατανόηση της πολιτικής ιστορίας της Κλασικής Αθήνας.

Η βάση αρχαίων Ελληνικών επιγραφών που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση της Ιθάκης περιέχει την παλαιότερη χρονολόγηση του 446/445 π.Χ. Για να ελέγξουμε τις προτάσεις της Ιθάκης, την επανεκπαιδεύσαμε σε ένα σύνολο δεδομένων που δεν περιείχε τις χρονολογημένες επιγραφές και στη συνέχεια τις υποβάλαμε για ανάλυση. Είναι αξιοσημείωτο ότι η μέση προβλεπόμενη ημερομηνία της Ιθάκης για τα διατάγματα είναι το 421 π.Χ., η οποία συμβαδίζει με τις πιο πρόσφατες θεωρίες χρονολόγησης. Γεγονός που δηλώνει ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά σε συζητήσεις σχετικές με τις πιο σημαντικές στιγμές στην Ελληνική ιστορία.



Εικόνα 5. Οι προτάσεις χρονολόγησης της Ιθάκης και οι χρονολογήσεις της βάσης δεδομένων του Packard Humanities Institute (PHI) σε σύγκριση με τις ανανεωμένες ιστορικές επανεκτιμήσεις. Οι ημερομηνίες του PHI απέχουν κατά μέσο όρο 27 χρόνια από τις επαναξιολογήσεις, ενώ οι προβλέψεις της Ιθάκης έχουν μόλις 5 χρόνια από τις προτεινόμενες χρονολογίες.

Η Ιθάκη σηματοδοτεί μια νέα γενιά εργαλείων και αναδεικνύει την σπουδαιότητα της συνεργασίας Τεχνητής Νοημοσύνης και Ανθρωπιστικών Επιστημών. Ο αρχαίος Ελληνικός πολιτισμός παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατανόησή της ανάπτυξης της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου, και είναι ένα αναπόσπαστο μέρος της παγκόσμιας ιστορίας. Για το σκοπό αυτό, εργαζόμαστε σε εκδόσεις της Ιθάκης και για άλλες αρχαίες γλώσσες, ενώ οι Ιστορικοί μπορούν ήδη να χρησιμοποιήσουν ψηφιοποιημένες βάσεις δεδομένων στην τρέχουσα αρχιτεκτονική και να μελετήσουν ποικίλα αρχαία συστήματα γραφής, από τα Ακκαδικά έως τη Δημώδη Αιγυπτιακή γραφή, τα Εβραϊκά, και τη γλώσσα των Μάγια. Ελπίζουμε ότι μοντέλα όπως η Ιθάκη θα μπορέσουν να ξεκλειδώσουν το δυναμικό συνεργασίας μεταξύ της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Ανθρωπιστικών Επιστημών, συμβάλλοντας στη βελτίωση του τρόπου μελέτης και αναφοράς σημαντικών περιόδων της ανθρώπινης ιστορίας.

Ευχαριστίες:

Ο διαδραστικός ιστοχώρος ithaca.deepmind.com αναπτύχθηκε από τους Justin Grayston, Benjamin Maynard και Ricardo Cardenas. (Google Cloud)

○