

Εισαγωγή στην Αναπαράσταση Γνώσης

Σεμινάριο: Μουσική και Τεχνητή Νοημοσύνη **Μάθημα 2**

Χριστίνα Αναγνωστόπουλου

Τι είναι η αναπαράσταση;

- Μια **αναπαράσταση** είναι κάθε σημείωση ή σύμβολο που **επανα-παρουσιάζει** κάτι σε εμάς.
 - Αντιπροσωπεύει κάτι **στην απουσία** του ίδιου του πράγματος. Είναι ένα **υποκατάστατο**.
 - Παραδείγματα: **χάρτες, μενού, ζωγραφική, γλώσσα**.
 - Σημαντικές πληροφορίες **περιλαμβάνονται**, άλλες **αποκλείονται**.
-
- Τι είναι μια **νοητική αναπαράσταση**;
 - Μια **αναπαράσταση του εξωτερικού κόσμου** μέσα στο μυαλό μας.
 - Υπάρχουν **πολλοί τύποι νοητικών αναπαραστάσεων** (το βασικό ζήτημα στις Γνωσιακές Επιστήμες).
 - **Δομική προσέγγιση**: μονάδες και οι **σχέσεις** μεταξύ τους. **Συμβολική φύση**.
 - Όπως σε κάθε αναπαράσταση, **υπάρχουν επίπεδα αφαίρεσης**

Τι είναι μία αναπαράσταση γνώσης;

- Κεντρική περιοχή της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Γνωσιακής Επιστήμης.
- Ασχολείται με **το πώς η γνώση αποθηκεύεται, οργανώνεται και χρησιμοποιείται.**
- Συνδέει **αντίληψη → σκέψη → δράση** για ανθρώπους και μηχανές.
- “A Knowledge Representation is a surrogate – a substitute for the world.”
(*Davis, Shrobe & Szolovits, 1993*)

Σκοπός και λειτουργία της ΑΓ (KR)

- Να περιγράφει τον κόσμο ώστε να είναι δυνατός ο συμπερασμός.
- Να οργανώνει τη γνώση έτσι ώστε να είναι ανακτήσιμη, επεκτάσιμη και ερμηνεύσιμη.
- Συνδέει τις μορφές συμβολισμού, λογικής και μάθησης.
- Στην πράξη: είναι η «γλώσσα σκέψης» μας μηχανής.

Αποτελείται από:

- **Μονάδες ή σύμβολα (units / symbols)**

→ τα βασικά «στοιχεία» που αντιπροσωπεύουν έννοιες, αντικείμενα ή γεγονότα
(π.χ. *John, Mary, Cake*)

- **Σχέσεις μεταξύ συμβόλων (relations between symbols)**

→ δηλώνουν πώς συνδέονται οι έννοιες μεταξύ τους
(π.χ. *Loves(John, Mary)*)

- **Λειτουργίες ή πράξεις πάνω στα σύμβολα (operations for these symbols)**

→ επιτρέπουν στο σύστημα να κάνει συμπεράσματα ή να παράγει νέα γνώση
(π.χ. κανόνες, λογικοί τελεστές, ερωτήματα *Prolog*)

Παράδειγμα Αναπαράστασης Γνώσης
(σύμφωνα με τη λογική πρώτης τάξης και τη γλώσσα *Prolog*)

John

Αναπαράσταση ενός αντικειμένου / ατόμου

Happy(John)

Ο John είναι χαρούμενος

Loves(John, Mary)

Ο John αγαπά τη Mary

Στην Prolog

Κάθε γραμμή είναι **μία πρόταση γνώσης** (ένα γεγονός ή μια σχέση).

- Τα ονόματα γράφονται με **πεζά** (π.χ. john, mary).
- Οι **μεταβλητές** αρχίζουν με **κεφαλαίο** γράμμα (π.χ. X).
- Η τελεία (.) δηλώνει το τέλος της πρότασης.

Ερωτήματα (Queries)

```
?- happy(john).  
true.
```

```
?- loves(mary, john).  
false.
```

```
?- loves(mary, X).  
X = someone.
```

● Έτσι ρωτάμε τη βάση γνώσης “τι γνωρίζει”.

- Αν το γεγονός υπάρχει, η Prolog απαντά **true**.
- Αν όχι, απαντά **false**.
- Αν υπάρχει μεταβλητή, επιστρέφει τις τιμές που ικανοποιούν τη σχέση.

Παράδειγμα Κανόνα

```
happy(Person) :-  
    loves(Person, Someone),  
    happy(Someone) .
```

◆ Αυτό σημαίνει:

«Ένα άτομο είναι χαρούμενο, **αν** αγαπά κάποιον που είναι επίσης χαρούμενος.»

Ιδιότητες μιας καλής αναπαράστασης

Ιδιότητες Μιας Καλής Αναπαράστασης

- **Εκφραστικότητα:** να περιγράφει σύνθετες σχέσεις.
- **Αποδοτικότητα:** να επιτρέπει γρήγορη επεξεργασία.
- **Ερμηνευσιμότητα:** να κατανοείται από ανθρώπους.
- **Συνέπεια:** χωρίς αντιφάσεις.
- **Επεκτασιμότητα:** εύκολη προσθήκη νέας γνώσης.
- **Πιστότητα:** να αντανακλά σωστά την πραγματικότητα.

Θεωρητικό θεμέλιο

Θεωρητικά θεμέλια

- Εδράζεται στη **φιλοσοφία της γνώσης** και στη **γνωσιακή επιστήμη**.
- Η αναπαράσταση είναι **ερμηνευτική πράξη**: ο τρόπος που «βλέπουμε» τον κόσμο.
- Επιρροές:
 - Wittgenstein – νόημα & χρήση
 - Peirce – σημειωτική και ερμηνεία
 - Marr – επίπεδα ανάλυσης
 - Johnson-Laird – νοητικά μοντέλα
- Κεντρικό ερώτημα:
Πώς η μορφή μιας αναπαράστασης καθορίζει το είδος της γνώσης που μπορούμε να εκφράσουμε;

4 βασικές κατηγορίες αναπαράστασης

1. Λογικά σχήματα αναπαράστασης (Logical representation schemes)

- Χρησιμοποιούν **εκφράσεις τυπικής λογικής**.
- Η πιο συνηθισμένη: **Λογική πρώτης τάξης (First Order Logic)**.
- Έχουν υλοποιηθεί σε γλώσσες όπως η **PROLOG**.

2. Διαδικαστικά σχήματα αναπαράστασης (Procedural representation schemes)

- Η γνώση αναπαρίσταται ως **σύνολο οδηγιών** ή διαδικασιών επίλυσης προβλημάτων.
- Συχνά εκφράζεται με **κανόνες τύπου If–Then**.
- Επικεντρώνεται στο *πώς* επιλύεται ένα πρόβλημα, όχι μόνο στο *τι* γνωρίζεται.

3. Δικτυακά σχήματα αναπαράστασης (Network representation schemes)

- Βασίζονται σε **γραφήματα**:
 - οι **κόμβοι** αντιστοιχούν σε αντικείμενα ή έννοιες
 - οι **ακμές** δηλώνουν σχέσεις μεταξύ τους.
- Παράδειγμα: **σημασιολογικά δίκτυα (semantic networks)**.

4. Δομημένα σχήματα αναπαράστασης (Structured representation schemes)

- Επεκτείνουν τα δικτυακά μοντέλα επιτρέποντας οι κόμβοι να είναι **σύνθετοι τύποι δεδομένων**.
- Παρέχουν **ιεραρχική οργάνωση** και **κληρονομικότητα** χαρακτηριστικών.
- Παραδείγματα: **frames** (πλαίσια), **scripts** (σενάρια).

Οι τέσσερις αυτές κατηγορίες δείχνουν διαφορετικούς τρόπους «σκέψης» των συστημάτων.

Είδη αναπαράστασης

Τύπος	Παράδειγμα	Πλεονεκτήματα
Λογική	Κατηγορηματική λογική	Ακρίβεια, αυστηρός συμπερασμός
Κανόνες	If–then δηλώσεις	Διαφάνεια
Πλαίσια	Ιεραρχικά slots	Κατηγοριοποίηση
Δίκτυα εννοιών	Κόμβοι – Σχέσεις	Οπτική κατανόηση
Οντολογίες	Knowledge Graphs	Διαλειτουργικότητα
Νευρωνικές αναπαραστάσεις	Embeddings	Μάθηση & προσαρμογή

Η Εξέλιξη της Αναπαράστασης

- **1950–1980:** Συμβολική ΤΝ – λογική, κανόνες.
- **1990–2000:** Εξειδικευμένα συστήματα, οντολογίες.
- **2010–2020:** Νευρωνικά δίκτυα, *distributed representations*.
- **Σήμερα:** Συνδυαστικά μοντέλα — *Neuro-symbolic AI*.



- **Στόχος:** συνύπαρξη **λογικής ακρίβειας** και **γνωσιακής ευελιξίας**.

Θεωρητικό υπόβαθρο

David Marr – Επίπεδα Αναπαράστασης και Ανάλυσης

Τρία επίπεδα κατανόησης ενός γνωστικού συστήματος:

1.Υπολογιστικό επίπεδο: Τι πρόβλημα λύνει το σύστημα;

2.Αλγοριθμικό / Αναπαραστασιακό: Πώς αναπαρίσταται η πληροφορία και πώς μετασχηματίζεται;

3.Επίπεδο υλοποίησης: Πώς πραγματοποιείται φυσικά (νευρώνες, κώδικας).

📖 Marr, D. (1982). *Vision: A Computational Investigation...*

💡 **Σημασία:** θεμελιώνει τη μετάβαση από το «τι» στο «πώς» της γνώσης — πλαίσιο για τη γνωσιακή ανάλυση της μουσικής.

9. Philip Johnson-Laird – Νοητικά Μοντέλα

- Οι άνθρωποι **δεν σκέφτονται με λογικές προτάσεις**, αλλά με **νοητικά μοντέλα**.

- Ένα **νοητικό μοντέλο** είναι εσωτερική προσομοίωση του κόσμου.

- Ο νους «δοκιμάζει» εσωτερικά σενάρια για να κάνει συμπεράσματα.

📖 Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*.

💡 **Σημασία:** Στη μουσική, ο ακροατής κατασκευάζει **νοητικά σχήματα** ρυθμού, μορφής και προσδοκίας, πάνω στα οποία βασίζεται η κατανόηση και η συγκινησιακή εμπειρία.

-

Αναπαράσταση Γνώσης στη Μουσική

Τι σημαίνει Αναπαράσταση στη Μουσική;

- Τρόπος αποτύπωσης μουσικών σχέσεων και σημασιών.
- Μορφές:
 - **Συμβολική:** παρτιτούρα, MIDI, MusicXML
 - **Ακουστική:** κυματομορφή, φάσμα
 - **Εννοιολογική:** θεματική, αρμονική, μορφολογική 
 - **Γνωσιακή:** προσδοκίες, μνήμη, κατηγορίες

Γιατί είναι σημαντική;

- Ενοποιεί **ανάλυση, σύνθεση, και αντίληψη.**
- Επιτρέπει αυτόματη ανάλυση, αναγνώριση μοτίβων, δημιουργική σύνθεση.
- Συνδέει **ανθρώπινη και μηχανική** μουσική νόηση.

Είδη Μουσικής Αναπαράστασης

Επίπεδο	Παράδειγμα	Περιγραφή
Συμβολικό	MIDI, MusicXML	Νοηματική πληροφορία (νότα, διάρκεια)
Ακουστικό	Spectrogram	Ηχητική ενέργεια στο χρόνο
Δομικό	pitch intervals, patterns	Σχέσεις και παραλλαγές
Γνωσιακό	σχήματα, προσδοκίες	Νοητικά μοντέλα μουσικής εμπειρίας

Το Κεντρικό Ερώτημα

Πώς «ξέρει» ένα σύστημα ότι δύο φράσεις είναι παραλλαγές του ίδιου μοτίβου;
Απάντηση: μέσω **αναπαράστασης** που αποτυπώνει τις **σχέσεις**, όχι απλώς τα δεδομένα.

Θεωρητικά Επίπεδα (Molino – Nattiez)

- **Poietic:** προθετική γνώση συνθέτη
 - **Neutral:** το αντικείμενο (παρτιτούρα, ήχος)
 - **Aesthetic:** αντιληπτική & ερμηνευτική γνώση
- ➡ Κάθε επίπεδο απαιτεί διαφορετική μορφή αναπαράστασης.

Παράδειγμα: Μοτίβο

- Αρχικό: C–D–E–D
- Αναπαράσταση 1: $[+2, +2, -2]$
- Αναπαράσταση 2: ascending–ascending–descending
- Αναπαράσταση 3: σχέση με θέμα ή μορφή του έργου.
💡 Δείχνει πώς η αναπαράσταση καθορίζει τη σχέση και την ταυτότητα του μοτίβου.

16. Από την Ανθρώπινη στη Μηχανική Κατανόηση

- Ο άνθρωπος: έννοιες, μνήμες, αναλογίες.
- Η μηχανή: τυπικές δομές, κανόνες, embeddings.
- Παραδείγματα:
 - Ανάλυση Bach chorales
 - Αναγνώριση στυλ
 - Reflexive interactive systems (*The Continuator*)

C4 – D4 – E4 – D4 – C4

Διαστήματα: +2, +2, −2, −2

Απόλυτα διαστήματα μεταξύ διαδοχικών φθόγγων

Κλάσεις διαστημάτων: 2, 2, 2, 2

Αντίστοιχες κλάσεις διαστημάτων

Μορφή περιγράμματος (contour): ↑, ↑, ↓, ↓

Μεταβολές ύψους (άνοδος – κάθοδος)

Διάρκειες: 1, 1, 1, 1, 1

Όλες οι νότες ίδιες διάρκειες (π.χ. 1 beat)

Ρυθμικός ρυθμός: ισότιμος

ισόχρονος ρυθμικός χαρακτήρας

Προσαρμογή (transposition invariance)

Το ίδιο μοτίβο σε άλλες τονικότητες μπορεί να “ανιχνευθεί”

Εμφανισιμότητα (frequency in corpus)

Πόσο συχνά μοιάζει μοτίβο σε ευρύτερο corpus (ιδέα από Conklin)

Τύπος	Επικέντρωση	Εργαλεία
Συμβολική	Δομή, σχέσεις	Humdrum, Music21
Νευρωνική	Ηχητικά μοτίβα	Magenta, DeepMusic
Υβριδική	Συνδυασμός	RAVE, Reflexive Interaction

Προβληματισμοί & Προοπτικές

- Μπορεί μια μηχανή να «κατανοεί» μουσική ή απλώς να μιμείται;
- Πώς ισορροπούμε ανάμεσα σε **υπολογιστική ακρίβεια** και **μουσική σημασία**;
- Μελλοντικές κατευθύνσεις:
 - Συμβολικά + Νευρωνικά μοντέλα
 - Υπολογιστικά + Ερμηνευτικά εργαλεία
 - Διασύνδεση ΤΝ και Ανθρωπιστικών Σπουδών
 -

Η αναπαράσταση γνώσης είναι η **γέφυρα** ανάμεσα στην ανθρώπινη κατανόηση και την υπολογιστική λογική.

Στη μουσική, είναι ο τρόπος με τον οποίο «κάνουμε τη μουσική σκέψη υπολογίσιμη» χωρίς να χάνουμε το νόημά της.