



# **ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ**

**ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΓΝΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ LLMs**  
**Καζάκου Χρυσάνθη/Χριστίνα**  
**Αριθμός Μητρώου: 22033**



Αθήνα, 2025



**HAROKOPIO UNIVERSITY**

SCHOOL HAROKOPIO UNIVERSITY

DEPARTMENT of Informatics and Telematics

**Title KNOWLEDGE GRAPH CREATION USING LLMs**

**Student's name and surname: Chrysanthi/Christina Kazakou**

Athens, 2025



**ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

**Βασίλειος Ευθυμίου (Επιβλέπων)**  
**Επίκουρος Καθηγητής, Πληροφορικής και Τηλεματικής,**  
**Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Γεώργιος Παπαδόπουλος**  
**Επίκουρος Καθηγητής, Πληροφορικής και Τηλεματικής,**  
**Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Δημήτριος Μιχαήλ**  
**Αναπληρωτής Καθηγητής, Πληροφορικής και Τηλεματικής,**  
**Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

Η Χρυσάνθη Χριστίνα Καζάκου

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.
- 3) Όπου υφίστανται δικαιώματα άλλων δημιουργών έχουν διασφαλιστεί όλες οι αναγκαίες άδειες χρήσης ενώ το αντίστοιχο υλικό είναι ευδιάκριτο στην υποβληθείσα εργασία.

## **Αφιέρωση**

Με απέραντη αγάπη και βαθιά ευγνωμοσύνη, αφιερώνω την παρούσα διπλωματική εργασία στον Τριαδικό Θεό, πηγή κάθε ζωής και σοφίας, και στην γλυκιά και στοργική Μητέρα Παναγία, που με αγκαλιάζει με την απεριόριστη μητρική της αγάπη και φροντίδα. Η καθοδήγηση και η δύναμη που μου προσέφεραν αδιάλειπτα καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου υπήρξαν φάροι φωτός και ελπίδας στα δύσκολα μονοπάτια. Ταυτόχρονα, ευχαριστώ την οικογένειά μου, που με την αγάπη, την υποστήριξη και την υπομονή της στάθηκε ακούραστη συνοδοιπόρος σε αυτό το ταξίδι.

**«Κύριος φωτισμός μου καὶ σωτήρ μου· τίνα  
φοβηθήσομαι; Κύριος ὑπερασπιστὴς τῆς  
ζωῆς μου· ἀπὸ τίνος δειλιάσω;»**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Βασίλειο Ευθυμίου, για την πολύτιμη καθοδήγηση και την αδιάκοπη στήριξη σε κάθε βήμα της ακαδημαϊκής μου πορείας, καθώς και για την εμπιστοσύνη του με την ανάθεση της παρούσας εργασίας. Τέλος, εκφράζω την ειλικρινή και βαθιά ευγνωμοσύνη μου προς τη συμβουλευτριά μου, κυρία Αγγελική Βρεττού, για την πολύτιμη καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη και τη διαρκή βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη στα Ελληνικά .....	σ.11
Περίληψη στα Αγγλικά .....	σ.12
Κατάλογος Εικόνων .....	σ.13
Κατάλογος Πινάκων .....	σ.14
Συντομογραφίες .....	σ.15
Εισαγωγή .....	σ.16
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b> .....	σ.16
1.1 Γράφημα Γνώσης .....	σ.16
1.2 Large Language Models .....	σ.17
1.3 Ολοκλήρωση Γραφήματος Γνώσης .....	σ.17
1.4 Επιλογή Paper Αναφοράς .....	σ.18
1.5 Συνεισφορές .....	σ.18
<b>Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία</b> .....	σ.20
2.1 Multi-Agent Λογική .....	σ.20
2.1.1 Knowledge Graph User (KG User) .....	σ.20
2.1.2 Knowledge Graph Assistant (KG Assistant) .....	σ.20
2.1.3 Web Searcher .....	σ.21
2.1.4 Task Specifier .....	σ.21
2.2 Τροποποιήσεις / Προσθήκες στην υλοποίηση .....	σ.21
<b>Κεφάλαιο 3: Use Cases (Περιπτώσεις Χρήσης)</b> .....	σ.24
3.1 Bribery and Corruption .....	σ.24
3.2 Ηλεκτρονικό έγκλημα από την οπτική γωνία των αρχών επιβολής του νόμου .....	σ.26
3.3 Crash of Titans .....	σ.29
<b>Κεφάλαιο 4: Αξιολόγηση</b> .....	σ.32
4.1 Μεθοδολογία Αξιολόγησης .....	σ.32
4.2 Αξιολόγηση Multi-Agent προσέγγισης .....	σ.33
4.2.1 Bribery and Corruption .....	σ.33
4.2.2 Cybercrime from the perspective of law enforcement	



authorities .....	σ.35
4.2.3 Crash of Titans .....	σ.37
4.3 Γιατί Multi-Agent προσέγγιση και όχι baseline προσέγγιση; .....	σ.40
<b>Κεφάλαιο 5: Περίληψη, Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις .....</b>	<b>σ.41</b>
Βιβλιογραφία .....	σ.42



## Περίληψη στα Ελληνικά

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία γραφημάτων γνώσης με τη χρήση Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (Large Language Models - LLMs). Τα γραφήματα γνώσης αποτελούν μια ισχυρή αναπαράσταση δεδομένων, τα οποία συνδέουν πληροφορίες και σχέσεις μεταξύ οντοτήτων με οργανωμένο και εύκολα ανακτήσιμο τρόπο. Στην παρούσα μελέτη, αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματα των LLMs, τα οποία με την αυξημένη ικανότητα κατανόησης φυσικής γλώσσας και τη δημιουργία σύνθετων συνδέσεων, παρέχουν νέες προοπτικές για την αυτόματη παραγωγή γραφημάτων γνώσης από μη δομημένα δεδομένα.

Το αντικείμενο της εργασίας επικεντρώνεται στην αξιοποίηση των LLMs για την εξαγωγή γνώσης από διαφορετικές πηγές, όπως κείμενα, άρθρα και βάσεις δεδομένων. Επιπλέον, διερευνάται η εφαρμογή του μοντέλου Llama-3 για τη δημιουργία τέτοιων γραφημάτων σε πραγματικό χρόνο με την χρήση πολλαπλών πρακτόρων (agents).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει μια multi-agent προσέγγιση. Κάθε πράκτορας αναλαμβάνει έναν ιδιαίτερο ρόλο, και μέσω της συνεργασίας και της επικοινωνίας μεταξύ τους, επιτυγχάνεται η δημιουργία του επιθυμητού γραφήματος, αυτόματα. Λαμβάνοντας υπόψη το διαχωρισμό γνώσης που επικρατεί σε Large Models κατά τη φάση της προεκπαίδευσης, προτείνουμε την ενσωμάτωση εξωτερικών πηγών για να βοηθήσουν την ολοκλήρωση. Αυτές οι εξωτερικές πηγές είναι knowledge bases, ήδη υπάρχων KGs και το δίκτυο.

Τα κυριότερα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι τα γραφήματα γνώσης που παράγονται με τη χρήση LLMs προσφέρουν υψηλό βαθμό ακρίβειας και ολοκλήρωσης. Το μοντέλο κατόρθωσε να αναγνωρίσει και να συνδέσει αποτελεσματικά διαφορετικά σημεία δεδομένων, προσφέροντας νέες δυνατότητες για τη διαχείριση και αξιοποίηση της γνώσης σε διάφορους τομείς.

Συμπερασματικά, η παρούσα εργασία αναδεικνύει τη μεγάλη δυναμική των LLMs στη δημιουργία και ολοκλήρωση γραφημάτων γνώσης με την χρήση πολλαπλών πρακτόρων, καθώς και στην αυτοματοποίηση αυτής της διαδικασίας, προσφέροντας νέες δυνατότητες για την αποδοτική διαχείριση της πληροφορίας.

**Λέξεις κλειδιά:** LLMs, Multi-Agent, Ολοκλήρωση, Αυτοματοποίηση, Δίκτυο

## Abstract

This thesis is dedicated to knowledge graph creation with Large Language Models. Knowledge graphs are one of the powerful ways of representing data in which information and the relationships between entities are structured and easily accessible. This work takes advantage of the benefits provided by LLMs, whose improved natural language understanding and capability to create complex connections open up new perspectives for the automatic generation of knowledge graphs from unstructured data.

The study focuses on the extraction of information from texts, articles, and databases with the help of LLMs. It also covers how to use the Llama-3 model to generate graphs in real time using multiple agents. The methodology used in this research is a multi-agent approach wherein different agents are assigned different roles. Cooperation and communication between these agents will automatically generate the desired graph. We propose incorporating external sources to facilitate graph completion by considering the separation of knowledge in large models during pre-training. The external sources include knowledge bases, existing knowledge graphs, and the network.

The main findings reveal that the knowledge graphs created with LLMs are of high quality regarding accuracy and completion. Different pieces of information were identified and interrelated by the model in such a way that new capabilities of knowledge management and usage were provided.

This thesis therefore concludes that LLMs have strong potential in knowledge graph creation and completion by multiple agents, as well as in the automation of this process, offering new opportunities for efficient information management.

**Keywords:** LLMs, Multi-Agent, Completion, Automation, Browser

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ.1. Multi-Agent Προσέγγιση.....	σ.21
Εικ.2. Plot <b>UC1</b> .....	σ.25
Εικ.3. Plot <b>UC2</b> .....	σ.27
Εικ.4. Μέρος Plot <b>UC2</b> .....	σ.28
Εικ.5. Plot <b>UC3</b> .....	σ.30
Εικ.6 Τύπος Hansen-Hurwitz.....	σ.33
Εικ.7. Τύπος unbiased estimator <b>TWSC</b> .....	σ.33
Εικ.8. Αποτελέσματα αξιολόγησης <b>UC1</b> .....	σ.34
Εικ.9. Αποτελέσματα αξιολόγησης ολοκλήρωσης <b>UC1</b> .....	σ.35
Εικ.10. Αποτελέσματα αξιολόγησης baseline <b>UC1</b> .....	σ.35
Εικ.11 Αποτελέσματα αξιολόγησης συνδυασμού γραφημάτων <b>UC1</b> .....	σ.35
Εικ.12. Αποτελέσματα αξιολόγησης <b>UC2</b> .....	σ.37
Εικ.13. Αποτελέσματα αξιολόγησης ολοκλήρωσης <b>UC2</b> .....	σ.37
Εικ.14. Αποτελέσματα αξιολόγησης baseline <b>UC2</b> .....	σ.37
Εικ.15. Αποτελέσματα αξιολόγησης <b>UC3</b> .....	σ.38
Εικ.16 Αποτελέσματα αξιολόγησης ολοκλήρωσης <b>UC3</b> .....	σ.39
Εικ.17 Αποτελέσματα αξιολόγησης baseline <b>UC3</b> .....	σ.39
Εικ.18 Αποτελέσματα αξιολόγησης συνδυασμού γραφημάτων <b>UC3</b> .....	σ.40

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίν.1: Στατιστικά knowledge graphs <b>UC1</b> .....σ.26	
Πίν.2: Στατιστικά knowledge graphs <b>UC2</b> .....σ.29	
Πίν.3: Στατιστικά knowledge graphs <b>UC3</b> .....σ.30	

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

LLMs	Large Language Models
UC	Use Case
KG	Knowledge Graphs
MA	Multi-Agents
TSWCS	TwoStage Weighted Cluster Sampling
WSC	Weighted Cluster Sampling

## Κεφ. 1 Εισαγωγή

Στην άνθιση του 21ου αιώνα, παρατηρείται η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας, όπως και η ταχύρρυθμη πορεία της. Περίπου στα τέλη του 2022, παρατηρήθηκε μια έκρηξη ενδιαφέροντος από την επιστημονική κοινότητα και από τους απλούς χρήστες για την χρήση των LLMs και ειδικότερα του ChatGPT. Παράλληλα, η μηχανική μάθηση όπως και το deep learning, είναι δύο κλάδοι, οι οποίοι χρειάζονται μεγάλο πλήθος δεδομένων για την εκπαίδευσή τους. Η χρήση των γραφημάτων γνώσης, μπορεί να βοηθήσει στην αποτελεσματικότερη εκπαίδευση αυτών των μοντέλων, παρέχοντάς τους ένα μεγάλο πλήθος πληροφοριών για κάθε θεματική ξεχωριστά. Ωστόσο, η δημιουργία γραφημάτων γνώσης είναι μία χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί την εις βάθος γνώση ενός πεδίου, καθώς και την συνεργασία μεταξύ ειδικών του εκάστοτε πεδίου και ειδικών στην μοντελοποίηση γνώσης. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε τα παραπάνω εμπόδια και να απλοποιήσουμε την κατασκευή εξειδικευμένων γραφημάτων γνώσης, ακόμα και από χρήστες που δεν είναι ειδικοί ούτε στο πεδίο που μελετά το εκάστοτε γράφημα, αλλά ούτε και στη μοντελοποίηση γνώσης.

### 1.1 Γράφημα Γνώσης

Γράφημα γνώσης είναι ένα σημασιολογικό δίκτυο, το οποίο παρέχει πολλές σχέσεις μεταξύ οντοτήτων [1]. Ένας γράφημα γνώσης αποτελείται από ένα σύνολο τριπλετών. Κάθε τριπλέτα είναι στην μορφή, <subject, predicate, object>. Το subject υποδηλώνει το υποκείμενο, το predicate υποδηλώνει την σχέση που υπάρχει μεταξύ των δύο οντοτήτων subject και object, και object είναι το αντικείμενο. Ένα παράδειγμα τριπλέτας είναι η εξής: <Cybercrime, includes, Malware>. Τα γραφήματα γνώσης μπορούν να συμβάλλουν στην αποτελεσματική εκπαίδευση μοντέλων, διότι παρέχουν ένα σημαντικό πλήθος σχέσεων μεταξύ οντοτήτων, όπου μπορούν να βοηθήσουν το εκπαιδευόμενο μοντέλο να έχει πιο πολλές πληροφορίες. Στην εργασία μας, προσπαθούμε να παράξουμε αρκετά γραφήματα γνώσης, περί διαφόρων θεμάτων και ιδιαιτέρως για θέματα οικονομικών εγκλημάτων και κυβερνοασφάλειας. Αυτά τα γραφήματα γνώσης παράγονται με την χρήση Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (Large Language Models - LLMs) και στην περίπτωση μας, με το μοντέλο Llama 3 και το διαδίκτυο, μέσω μίας multi-agent προσέγγισης που θα αναλύσουμε στο 2ο κεφάλαιο.



## 1.2 Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs)

Τα large language models (LLMs) αναφέρονται σε μοντέλα γλώσσας Transformers, τα οποία παρέχουν πολλές δισεκατομμύρια παραμέτρους, και τα μοντέλα αυτά είναι εκπαιδευμένα σε τεράστια text data.<sup>[2]</sup> Ο σκοπός των LLMs είναι να μπορέσουν να κατανοήσουν την φυσική γλώσσα, και να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν διάφορα πολύπλοκα tasks. Γενικά, παρατηρούμε πως περίπου από τα τέλη του 2022, υπάρχει ένα τεράστιο ενδιαφέρον από την επιστημονική κοινότητα και από τους απλούς χρήστες για την χρήση αυτών των μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά έχουν την δυνατότητα να απαντήσουν σε σύνθετα ερωτήματα, να διαβάσουν PDFs, να μπορέσουν να αναγνώσουν ιστοσελίδες και πολλές ακόμα σημαντικές λειτουργίες. Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήσαμε ένα από αυτά τα LLMs, το Llama 3, και μέσω διαφόρων ερωτήσεων για την θεματική που μας ενδιαφέρει, που τις ερωτήσεις αυτές τις κάνουν οι agents, μπορέσαμε να παράξουμε γραφήματα γνώσης με έναν αυτοματοποιημένο τρόπο και όχι με έναν manual. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό διότι έτσι γλιτώνουμε πολύ χρόνο και κόπο και μπορούμε να έχουμε πολύ γρήγορα αποτελέσματα και αξιόπιστα. Τα LLMs όμως, έχουν και 2 βασικά μειονεκτήματα. Αρχικά, πρώτο μειονέκτημα είναι τα hallucinations. Αυτό σημαίνει πως κάποιες φορές, μπορεί να μας δώσουν αποτελέσματα τα οποία δεν έχουν καμία σχέση με την θεματική μας ή αποτελέσματα που δεν βγάζουν ιδιαίτερο νόημα. Δεύτερο μειονέκτημα είναι πως κάθε API έχει και έναν συγκεκριμένο αριθμό από tokens που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. <sup>[3]</sup>

## 1.3 Ολοκλήρωση Γραφήματος Γνώσης

Ο όρος ολοκλήρωση γραφήματος γνώσης, αναφέρεται στην δημιουργία νέων σχέσεων μεταξύ των ήδη υπαρχόντων οντοτήτων στο γράφημα γνώσης. <sup>[4]</sup> Κατά την δημιουργία ενός γραφήματος γνώσης υπάρχουν πολλές πιθανότητες σημαντικές σχέσεις να έχουν παραληφθεί. Με την χρήση των LLMs, δίνουμε ως είσοδο ένα μέρος του γραφήματος γνώσης και ζητάμε από αυτά την ολοκλήρωσή του. Αυτό μας επιτρέπει αυτομάτως να έχουμε ένα πιο ισχυρό γράφημα γνώσης με περισσότερες σχέσεις μεταξύ οντοτήτων. Η ολοκλήρωση του γραφήματος γνώσης μπορεί να διακριθεί σε τρία βασικά έργα:

1. Δεδομένων των αρχικών οντοτήτων (subject) και των σχέσεων (predicate) σε μια τριπλέτα, να προβλεφθούν οι αντίστοιχες τερματικές οντότητες (object), όπως (Πεκίνο, πρωτεύουσα\_της, ?).
2. Δεδομένων των predicate και object, να προβλεφθούν τα αντίστοιχα subjects, όπως (?, πρωτεύουσα\_της, Κίνα).
3. Δεδομένων των subjects και object οντοτήτων, να προβλεφθεί η σχέση μεταξύ τους, όπως (Πεκίνο, ?, Κίνα).

Δηλαδή, από δύο δεδομένα στοιχεία σε μία τριπλέτα, μπορεί να προκύψει το τρίτο στοιχείο. Για συγκεκριμένες εφαρμογές, η ολοκλήρωση του γραφήματος γνώσης περιλαμβάνει πρόβλεψη συνδέσμων (link prediction), πρόβλεψη οντοτήτων (entity prediction), πρόβλεψη σχέσεων (relation prediction), πρόβλεψη χαρακτηριστικών (attribute prediction) και άλλες υπο-εργασίες. [5]

## 1.4 Επιλογή Paper Αναφοράς

Στην παρούσα εργασία, για την βάση της Multi-Agent λογικής και γενικότερα της αυτοματοποίησης των γραφημάτων γνώσης, έγινε αναφορά στο ήδη υπάρχον paper “LLMs for knowledge graph construction and reasoning recent capabilities and future opportunities”. Γενικότερα υπήρχαν και άλλα paper από άλλες ομάδες ([[wispcarey](#)], [[zjunlp](#)],[[nnakul](#)]), που παρουσιάζουν την αυτοματοποίηση της δημιουργίας γραφημάτων γνώσης. Η επιλογή του συγκεκριμένου paper, έγινε διότι, εκεί παρουσιάστηκε η MultiAgent προσέγγιση, η οποία με αυτόματο τρόπο μας δίνει πιο ακριβή και σωστά αποτελέσματα, όπως θα αναλύσουμε και στο 2ο κεφάλαιο. Επίσης, στο συγκεκριμένο paper προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία αλλαγής των βιβλιοθηκών, ενώ στα υπόλοιπα papers αυτή η διαδικασία ήταν αρκετά πολύπλοκη. Τέλος, το συγκεκριμένο paper παρείχε περισσότερες πληροφορίες, σχετικά με το KG Construction, KG Reasoning και το Virtual KG extraction.

## 1.5 Συνεισφορές

Σε αυτή την εργασία ακολουθήσαμε μία αυτοματοποιημένη multi-agent προσέγγιση κατασκευής γραφημάτων γνώσης, στηριζόμενοι σε απλά ερωτήματα σε φυσική γλώσσα, τα οποία θέσαμε σε LLMs. Για την κατασκευή αυτών των γραφημάτων δεν απαιτείται ούτε εξειδικευμένη γνώση σε κάποιον τομέα, ούτε αναζήτηση στοιχείων στο διαδίκτυο, ούτε κατανόηση τεχνικών αναπαράστασης γνώσης, ούτε συντονισμός του όλου εγχειρήματος. Όλους αυτούς τους ρόλους τους αναλαμβάνουν διαφορετικοί agents, ο καθένας εκ των οποίων είναι ένα διαφορετικό LLM.

Εν συνεχεία, τα γραφήματα γνώσης που παρήχθησαν από την multi-agent προσέγγιση, συμπληρώθηκαν με νέες τριπλέτες που προέκυψαν από νέες κλήσεις σε LLMs, ακολουθώντας μία μεθοδολογία ολοκλήρωσης γραφημάτων γνώσης (Knowledge Graph Completion).

Για την αξιολόγηση της ποιότητας των παραγόμενων γραφημάτων γνώσης, αυτοματοποιήθηκαν οι μέθοδοι αξιολόγησης WCS και TWCS [6]. (Efficient Knowledge Graph Accuracy Evaluation) Παρόλο που η αξιολόγηση των

επιλεγμένων τριπλετών απαιτεί ακόμα manual εργασία, η διαδικασία υπολογισμού των τύπων και επιλογής των τριπλετών έχει αυτοματοποιηθεί, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Έτσι, ο χρήστης γλιτώνει αρκετό χρόνο και κόπο, και η αξιολόγηση γίνεται πιο αποδοτική και προσεκτική.

Ως μέτρο σύγκρισης της παραπάνω μεθοδολογίας παραγωγής γραφημάτων γνώσης, αναπτύχθηκε μία απλή baseline προσέγγιση. Η συγκεκριμένη προσέγγιση, λειτουργεί ανεξάρτητα από τον κώδικα μας, χωρίς την χρήση agents. Έτσι, μπορούμε να κάνουμε αξιολογήσεις της ποιότητας του κώδικα μας, και να βγάλουμε συμπεράσματα, για την ανωτερότητα της MultiAgent προσέγγισης σε σχέση με την baseline.

Τέλος, υλοποιήθηκε η δημιουργία μιας διαγραμματικής αναπαράστασης / οπτικοποίησης (visualization) των γραφημάτων γνώσης, προσφέροντας μια καλύτερη κατανόηση των δεδομένων.

## Κεφ.2 Μεθοδολογία

### 2.1 Multi-Agent προσέγγιση

Ο κώδικας και η Multi-Agent προσέγγιση που αναπτύξαμε είναι εμπνευσμένα από το υπάρχον paper [7]. Σε αυτή την προσέγγιση, ξεκινάμε με τέσσερις πράκτορες, καθένας με έναν συγκεκριμένο ρόλο, οι οποίοι συνεργάζονται και επικοινωνούν μεταξύ τους για να δημιουργήσουν αυτόματα το επιθυμητό γράφημα γνώσης. Ο διαμοιρασμός της γνώσης κατά την προεκπαίδευση των LLMs οδηγεί το paper να προτείνει την ενσωμάτωση εξωτερικών πηγών, όπως βάσεις γνώσεων (knowledge bases), υπάρχοντα γραφήματα γνώσης (KGs) και το διαδίκτυο, για να υποστηρίξουν τη διαδικασία της δημιουργίας και ολοκλήρωσης του γραφήματος.

Η βιβλιοθήκη CAMEL χρησιμοποιείται τόσο για τη δημιουργία όσο και για την επικοινωνία των πρακτόρων. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, οι ρόλοι αποδίδονται σε κάθε πράκτορα. Μετά την ανάθεση των ρόλων και τη διαμόρφωση των prompts, ο task specifier είναι υπεύθυνος να παρέχει μια λεπτομερή περιγραφή των εργασιών που πρέπει να εκτελέσουν οι πράκτορες.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών, οι πράκτορες συνεργάζονται σε ένα πολυμελές σύστημα (multi-party setup) μέχρι να επιβεβαιώσει ο KG User την ολοκλήρωση του καθορισμένου στόχου. Παράλληλα, ο Web Searcher αναλαμβάνει τον κρίσιμο ρόλο της αναζήτησης πληροφοριών από το διαδίκτυο για να υποστηρίξει τον KG Assistant. Όταν ο KG Assistant αλληλεπιδρά με τον KG User και του τίθεται μια ερώτηση, συμβουλευτείται τον Web Searcher για το αν χρειάζεται να αναζητήσει πληροφορίες online. Με βάση την απάντηση του Web Searcher, ο KG Assistant συνεχίζει να επικεντρώνεται στην επίλυση του ζητήματος που θέτει ο KG User.

#### 2.1.1 Knowledge Graph User (KG User)

Ο πρώτος και σημαντικότερος agent της Multi-Agent λογικής είναι ο Knowledge Graph User, στον οποίο ανατίθεται ο ρόλος “Knowledge Graph Domain Expert”. Αυτό σημαίνει πως ο συγκεκριμένος agent, είναι εκείνος που έχει την πιο εμπλουτισμένη γνώση και κατανόηση του knowledge graph, και είναι εκείνος που καθοδηγεί στην διαδικασία της δημιουργίας του γραφήματος, της διαχείρισης και της ανάλυσης του. Επίσης είναι εκείνος που δίνει τις κατάλληλες εντολές στον Knowledge Graph Assistant, ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Τέλος, μετά από μια σειρά αλληλεπιδράσεων με τον KG Assistant, ο KG User επιβεβαιώνει την ορθότητα και την ολοκλήρωση της εργασίας.

#### 2.1.2 Knowledge Graph Assistant (KG Assistant)

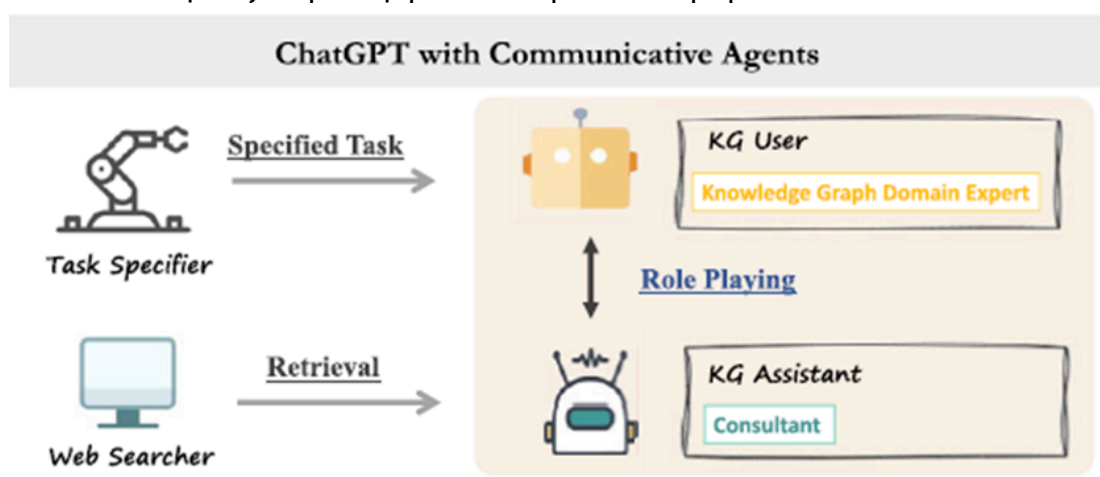
Στην συνέχεια, ο δεύτερος σημαντικότερος agent, είναι ο Knowledge Graph Assistant, στον οποίο ανατίθεται ο ρόλος του συμβούλου “Consultant”. Αρχικά ο ρόλος του είναι να υποστηρίξει τις εντολές που του δίνει ο KG User. Επίσης, είναι εκείνος που βοηθάει στην συγκέντρωση, την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων για την ολοκλήρωση του γραφήματος. Σε περίπτωση που χρειάζεται μεγαλύτερη βοήθεια ή περισσότερες πληροφορίες, για μια ερώτηση που του έκανε ο KG User, μπορεί να επικοινωνήσει με τον Web Searcher ώστε να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και η ακρίβεια των πληροφοριών.

### 2.1.3 Web Searcher

Ο Web Searcher είναι ο τρίτος στην σειρά agent. Αρχικά ο βασικός του ρόλος είναι να συγκεντρώνει πληροφορίες από το διαδίκτυο. Στην περίπτωση της εργασίας, χρησιμοποιήσαμε τον DuckDuckGo browser, διότι ήταν δωρεάν και επίσης μας έδωσε αρκετά καλά αποτελέσματα. Στην συνέχεια, όπως αναφέρθηκε και πριν, είναι εκείνος που θα βοηθήσει τον KG Assistant για περαιτέρω πληροφορίες. Τέλος είναι υπεύθυνος ώστε να συλλέξει τις κατάλληλες πληροφορίες που θα του ζητηθούν.

### 2.1.4 Task Specifier

Τελευταίος πράκτορας είναι ο Task Specifier. Ο βασικός του ρόλος είναι η λεπτομερής περιγραφή των tasks που πρέπει να εκτελεστούν από τους υπόλοιπους agents. Είναι επίσης υπεύθυνος για την εκκίνηση της όλης διαδικασίας παρέχοντας μια σαφή περιγραφή του τι πρέπει να γίνει και για ποιο σκοπό. Διασφαλίζει την σαφήνεια και την κατανόηση.



Εικ.1 (Multi-Agent Προσέγγιση)

## 2.2 Τροποποιήσεις / προσθήκες στην υλοποίηση

Αρχικά, τροποποιήθηκε ο τρόπος λειτουργίας των agents, ώστε να παράγουν τα αποτελέσματα σε μορφή τριπλετών (<subject, predicate, object>). Συγκεκριμένα,

τα prompts των Assistant και User αναδιαμορφώθηκαν έτσι ώστε οι απαντήσεις να είναι στο επιθυμητό format. Στην αρχή, πριν τις αλλαγές, τα αποτελέσματα ήταν σε μορφή απλού κειμένου, και επειδή δεν ήταν στην μορφή τριπλετών, δυσκόλευε στην επεξεργασία των δεδομένων και απαιτούν πολύ χρόνο.

Στη συνέχεια, προστέθηκε η συνάρτηση `apply_correction_rules()`, η οποία διασφαλίζει τη σωστή μορφοποίηση των τριπλετών. Για παράδειγμα, αν ένα subject είναι και object σε άλλη τριπλέτα, πλέον δεν τοποθετείται σε εισαγωγικά, καθώς αντιπροσωπεύει το ίδιο entity. Με την προσθήκη αυτής της συνάρτησης, πλέον το πρόγραμμα, τροποποιεί τις τριπλέτες σωστά.

Επιπλέον, αντικαταστάθηκε η βιβλιοθήκη του ChatGPT, με την εναλλακτική βιβλιοθήκη ChatTogetherAPI. Η βιβλιοθήκη αυτή, μας επιτρέπει να έχουμε πρόσβαση σε μια πληθώρα LLMs, και δεν απαιτεί άμεση συνδρομή, αλλά παρέχει δωρεάν ένα αρχικό κόστος. Τέλος, ο search engine ήταν το SerpAPI το οποίο απαιτεί συνδρομή, και επειδή χρειαζόμασταν μια δωρεάν λύση, αντικαταστάθηκε με τον search engine DuckDuckGO.

Τέλος, υλοποιήθηκε κώδικας για το knowledge graph completion, το οποίο αναφέρεται στην δημιουργία νέων σχέσεων μεταξύ των ήδη υπαρχόντων οντοτήτων στο γράφημα γνώσης. Ουσιαστικά η λογική του κώδικα είναι η εξής. Αρχικά δίνουμε ως είσοδο το γράφημα γνώσης, το οποίο θα αποθηκευτεί σε μια λίστα. Αφού διαβάσουμε τις τριπλέτες από το αρχείο δίνουμε το παρακάτω prompt στο LLM “Here is a list of knowledge graph triples: {triplets\_str}. Based on these existing triples, please generate additional unique triples in the format <subject, predicate, object> to help complete this knowledge graph. I need new triples with new relationships if they exist, in order to complete my knowledge graph. The new triples must be correct and their relationships must be real.”. Τέλος το LLM, εξάγει τις νέες τριπλέτες και τις αποθηκεύει σε ένα αρχείο new\_triples.txt. Χάρης το completion, έχουμε τα παρακάτω πλεονεκτήματα

- **Αύξηση Πληρότητας Δεδομένων:** Συμπληρώνει τα ελλιπή δεδομένα και γεμίζει τα κενά στα γραφήματα γνώσης, παρέχοντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των δεδομένων.
- **Βελτιωμένη Ανακάλυψη Γνώσης:** Βοηθά στην ανακάλυψη νέων σχέσεων και συσχετίσεων μεταξύ οντοτήτων που μπορεί να μην είναι άμεσα προφανείς.
- **Ενίσχυση Μηχανικής Μάθησης:** Δίνει δυνατότητες για την εκπαίδευση πιο ακριβών και ισχυρών μοντέλων μηχανικής μάθησης που μπορούν να κάνουν καλύτερες προβλέψεις.



## Κεφ.3 Περιπτώσεις Χρήσης

Στο 3ο κεφάλαιο, θα περιγράψουμε διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης (Use Cases), που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα μας. Συγκεκριμένα, θα παρουσιάσουμε τα prompts που χρησιμοποιήθηκαν, τα αντίστοιχα screenshots των αποτελεσμάτων, καθώς και την baseline προσέγγιση για κάθε use case. Στο τέλος κάθε Use Case, υπάρχει και ο κατάλληλος πίνακας με τα στατιστικά δεδομένα.

### 3.1 Use Case: Bribery and Corruption

Στο πρώτο Use Case, θα δημιουργήσουμε knowledge graph σχετικά με την διαφθορά και την δωροδοκία (bribery and corruption) , παρουσιάζοντας το σχετικό αρχείο και τα αποτελέσματα του προγράμματος μας. Παρακάτω παρέχονται μερικές ενδεικτικές τριπλέτες από το αρχικό KG. Η είσοδος που δόθηκε σε όλες τις περιπτώσεις ήταν η εξής :

"Construct a Knowledge Graph about Bribery and Corruption."

<Global Bribery and Corruption, hasReport, "World Economic Forum Global Risks Report">

<Brazil, hasCase, "Petrobras corruption scandal">

<World Bank, investigates, Bribery>

<India, hasCase, "2G spectrum scam">

<Investigative Methods, include, "witness interviews">

<United Nations Convention Against Corruption, addresses, "bribery and corruption">

<Global Bribery and Corruption, hasExpertAnalysis, "World Economic Forum">

<Interpol, coordinates, "International Police Actions Against Corruption">

<Investigative Methods, include, "undercover operations">

<Global Bribery and Corruption, hasFinancialImpact, "Decreased Foreign Direct Investment">

<Global Bribery and Corruption, hasInvestigativeMethod, "Forensic Accounting">

<Russia, hasCase, "Oleg Deripaska bribery accusations">

<Global Bribery and Corruption, hasFinancialImpact, "Reduced Investment in Infrastructure">

<United States, hasCase, "Enron Corporation scandal">

<Global Bribery and Corruption, hasKeyActor, "Media Outlets">

<Global Bribery and Corruption, hasLegalCase, "FIFA Corruption Case">

<Global Bribery and Corruption, hasKeyActor, "Lobbyists">

<Global Bribery and Corruption, hasLegalFramework, "Organisation for Economic Co-operation and Development Anti-Bribery Convention">

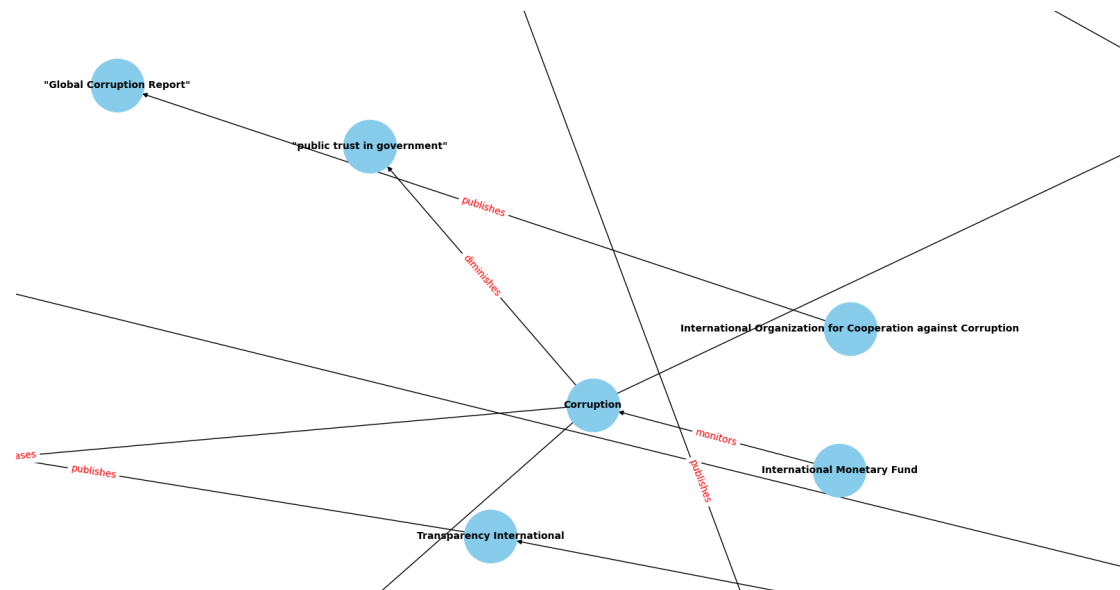
<Global Bribery and Corruption, hasKeyActor, "Non-Governmental Organizations">

<Global Bribery and Corruption, hasReport, "United Nations Office on Drugs and Crime Global Report on Corruption">



<Global Bribery and Corruption, hasExpertAnalysis, World Bank>  
 <Bribery, undermines, "fair competition">  
 <Global Bribery and Corruption, hasReport, "Organisation for Economic Co-operation and Development Anti-Bribery Convention">  
 <Global Bribery and Corruption, hasLegalCase, "Rolls-Royce Bribery Scandal">

Παρακάτω παρέχεται ένα μέρος του plot:



Εικ.2 Plot UC1

**Συνοπτική ανάλυση αναπαράστασης:** Παρατηρούμε πως ο κεντρικός (σημαντικότερος) κόμβος, είναι εκείνος του Corruption, διότι, έχει και τις πιο πολλές ακμές. Οι ακμές αναπαριστούν τις σχέσεις {subject:object} και κάθε κόμβος αναπαριστά ένα entity. Στην περίπτωση μας για παράδειγμα, ο κόμβος Corruption “ελαττώνει” την εμπιστοσύνη του κόσμου στην κυβέρνηση (<Corruption,”diminishes”,,”public trust in government”>).

Αρχικά παρατηρούμε, πως το format των αποτελεσμάτων είναι σε μορφή τριπλετών (triples). Οι τριπλέτες γενικότερα είναι της μορφής <subject, predicate, object>. Το subject υποδηλώνει το υποκείμενο, το predicate υποδηλώνει την σχέση που υπάρχει μεταξύ των δύο οντοτήτων subject και object, και object είναι το αντικείμενο. Παρακάτω, παρέχεται ο σχετικός πίνακας με τα στατιστικά του γραφήματος, πριν την ολοκλήρωσή του. Το Number of Triples, υποδηλώνει τον συνολικό αριθμό τριπλετών του γραφήματος μας. Επίσης, το Total Subjects, υποδηλώνει τον συνολικό αριθμό των διαφορετικών υποκειμένων. Στην συνέχεια Total Objects, υποδηλώνει τον συνολικό αριθμό των αντικειμένων. Επιπροσθέτως το number of relation triples δηλώνει τριπλέτες των οποίων το object είναι entity (δηλαδή εμφανίζεται χωρίς quotes και εμφανίζεται και σε κάποιες τριπλέτες ως subject, το number of attribute triples δηλώνει τριπλέτες

των οποίων το object είναι literal value δηλαδή εμφανίζεται με quote και το number of properties δηλώνει το πλήθος (διακριτών) predicates. Από τα παρακάτω αποτελέσματα, μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις: Αρχικά, από τα στατιστικά, φαίνεται η μεγάλη διαφορά των αποτελεσμάτων του δικού μας κώδικα σε σχέση με την baseline προσέγγιση. Ο αριθμός τριπλετών είναι αρκετά μεγαλύτερος. Αυτομάτως, έχουμε αρκετά περισσότερες πληροφορίες για το Use Case μας, διότι σε συνδυασμό με την ολοκλήρωση γραφήματος, συνολικά έχουμε 93 τριπλέτες, έναντι των 22 της baseline προσέγγισης. Επίσης σε όλα τα υπόλοιπα στατιστικά, είναι αισθητή αυτή η εκτενής διαφορά. Αυτό δηλώνει και την ανωτερότητα του κώδικα μας, ο οποίος παράγει περισσότερα αποτελέσματα. Τέλος παρέχονται ο πίνακας των αποτελεσμάτων της ολοκλήρωσης του γραφήματος, όπως και του συνδυασμού του με τον αρχικό γραφήματος γνώσης.

**Πίνακας 1 (Στατιστικά knowledge graphs UC1)**

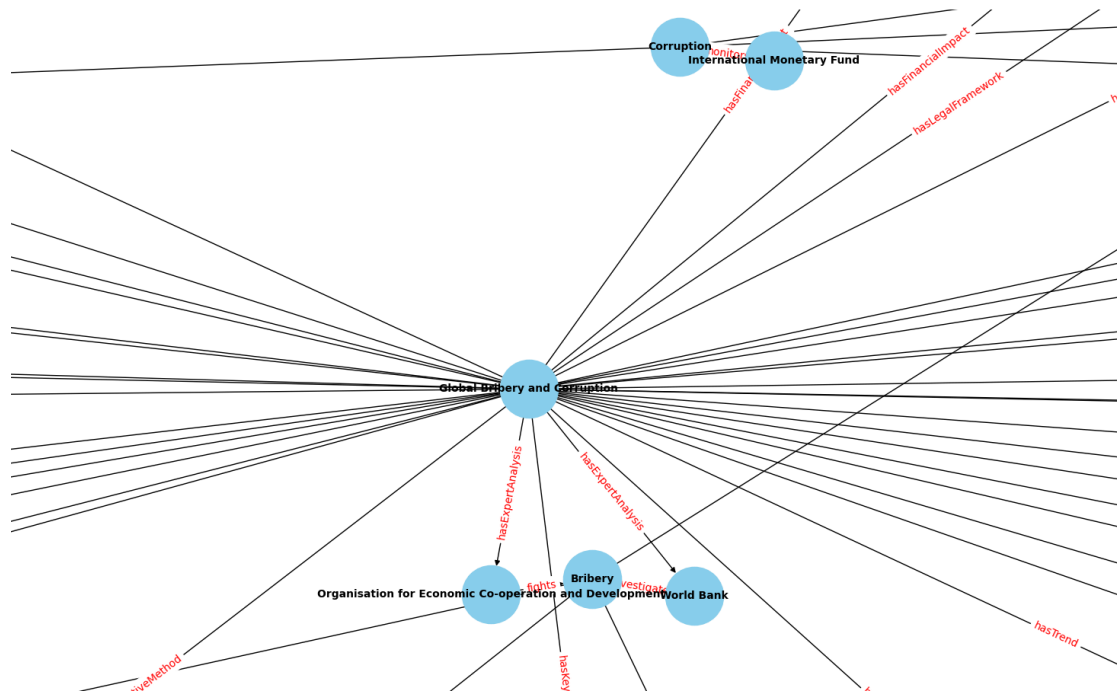
	Number of Triples	Total Subjects	Total Objects	Number of relation triples	Number of attribute triples	Number of properties
Αρχικό KG	71	19	67	9	62	29
Completion KG	20	11	20	20	0	10
Αρχικό + Completion	91	30	87	29	62	39
Baseline	22	7	5	22	0	11

### 3.2 Use Case: Ηλεκτρονικό έγκλημα από την οπτική γωνία των αρχών επιβολής του νόμου

Στο δεύτερο Use Case, θα δημιουργήσουμε knowledge graph σχετικά με το ηλεκτρονικό έγκλημα από την οπτική γωνία των αρχών επιβολής του νόμου (Cybercrime from the perspective of law enforcement authorities), παρουσιάζοντας το σχετικό αρχείο και τα αποτελέσματα του προγράμματός μας. Παρακάτω παρέχονται μερικές ενδεικτικές τριπλέτες. Η είσοδος που δόθηκε σε όλες τις περιπτώσεις ήταν η εξής : "Construct a Knowledge Graph about Cybercrime from the perspective of law enforcement authorities."

<AdvancedPersistentThreats, hasResponseStrategy, "ContinuousMonitoring">  
<SocialEngineering, response, "train staff">





Εικ.4 Μέρος Plot UC2

**Συνοπτική ανάλυση αναπαράστασης:** Παρατηρούμε πως ο κεντρικός (σημαντικότερος) κόμβος, είναι εκείνος του Global Bribery and Corruption, διότι, έχει και τις πιο πολλές ακμές. Οι ακμές αναπαριστούν τις σχέσεις {subject:object} και κάθε κόμβος αναπαριστά ένα entity. Στην περίπτωση μας για παράδειγμα, ο κόμβος Global Bribery and Corruption “έχει τέλεια ανάλυση στην Παγκόσμια Τράπεζα” (<Global Bribery and Corruption,”hasExpertAnalysis”,”World Bank”>).

Για άλλη μια φορά μπορούμε να παρατηρήσουμε πως ο συνδυασμός της ολοκλήρωσης του γραφήματος με το αρχικό γράφημα, υπερτερεί στα Number of Triples, Total Subjects, Total Entity Clusters, ενώ στο Total Objects, υπερτερεί η baseline προσέγγιση. Αυτή η μεγάλη διαφορά προκύπτει από το γεγονός, πως ο κώδικας μας χρησιμοποιεί και την βοήθεια εξωτερικού browser και όχι μόνο τις γνώσεις του LLM. Τέλος, σημαντικό είναι να τονίσουμε πως ο browser που χρησιμοποιούμε είναι ο DuckduckGO search engine ο οποίος ήταν και η μοναδική δωρεάν υπηρεσία που υπάρχει.

**Πίνακας 2 (Στατιστικά knowledge graphs UC2)**

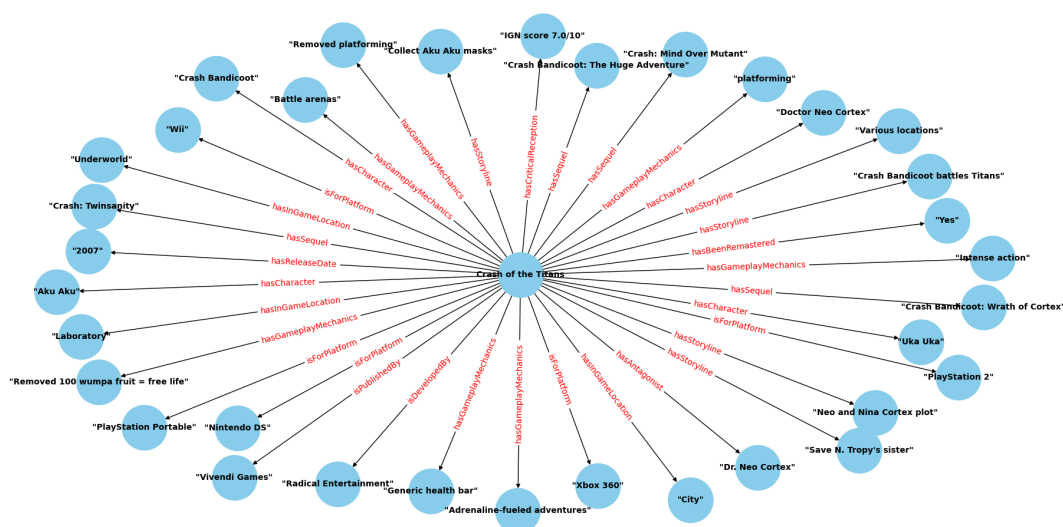
	Number of Triples	Total Subjects	Total Objects	Number of relation triples	Number of attribute triples	Number of properties
Αρχικό KG	175	33	11	31	144	24
Completion KG	29	11	29	0	29	8
Αρχικό + Completion	204	44	40	31	173	32
Baseline	82	10	42	82	0	23

### 3.3 Use Case: Crash of Titans

Στο τρίτο και τελευταίο Use Case, θα δημιουργήσουμε knowledge graph σχετικά με το βιντεοπαιχνίδι Crash of Titans, παρουσιάζοντας το σχετικό αρχείο και τα αποτελέσματα του προγράμματος μας. Παρακάτω παρέχονται μερικά ενδεικτικά screenshots.

<Crash of the Titans, isDevelopedBy, "Radical Entertainment">  
 <Crash of the Titans, isPublishedBy, "Vivendi Games">  
 <Crash of the Titans, isForPlatform, "PlayStation 2">  
 <Crash of the Titans, isForPlatform, "Xbox 360">  
 <Crash of the Titans, hasStoryline, "Neo and Nina Cortex plot">  
 <Crash of the Titans, hasGameplayMechanics, "platforming">  
 <Crash of the Titans, hasBeenRemastered, "Yes">  
 <Crash of the Titans, hasStoryline, "Crash Bandicoot battles Titans">  
 <Crash of the Titans, hasStoryline, "Save N. Tropy's sister">  
 <Crash of the Titans, hasStoryline, "Various locations">  
 <Crash of the Titans, hasStoryline, "Collect Aku Aku masks">  
 <Crash of the Titans, hasAntagonist, "Dr. Neo Cortex">  
 <Crash of the Titans, hasGameplayMechanics, "Generic health bar">  
 <Crash of the Titans, hasGameplayMechanics, "Battle arenas">  
 <Crash of the Titans, hasGameplayMechanics, "Removed platforming">  
 <Crash of the Titans, hasGameplayMechanics, "Removed 100 wumpa fruit = free life">  
 <Crash of the Titans, hasGameplayMechanics, "Intense action">  
 <Crash of the Titans, hasGameplayMechanics, "Adrenaline-fueled adventures">  
 <Crash of the Titans, hasCharacter, "Crash Bandicoot">

<Crash of the Titans, hasCharacter, "Aku Aku">  
 <Crash of the Titans, hasCharacter, "Uka Uka">



Εικ.5 Plot UC3

**Συνοπτική ανάλυση αναπαράστασης:** Παρατηρούμε πως ο κεντρικός (σημαντικότερος) κόμβος και μοναδικός, είναι εκείνος του Crash of Titans, διότι, έχει και τις πιο πολλές ακμές. Οι ακμές αναπαριστούν τις σχέσεις {subject:object} και κάθε κόμβος αναπαριστά ένα entity. Στην περίπτωση μας για παράδειγμα, ο κόμβος Crash of Titans “έχει sequel” το Crash: Mind Over Mutant (<Crash of Titans,”hasSequel”,”Crash: Mind Over Mutant”>). Η μοναδικότητα του subject, οφείλεται στο input που δώσαμε στο πρόγραμμα “Construct a knowledge graph for the video game Crash of Titans”. Επομένως επειδή δεν του ζητάμε πληροφορίες πχ για χαρακτήρες, μας αναλύει απλά για το παιχνίδι.

Πίνακας 3 (Στατιστικά knowledge graphs UC3)

	Number of Triples	Total Subjects	Total Objects	Number of relation triples	Number of attribute triples	Number of properties
Αρχικό KG	49	1	12	0	49	13
Completion KG	29	1	36	0	29	10
Αρχικό + Completion	78	1	48	0	78	23
Baseline	24	1	25	10	14	7

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε τα εξής. Αρχικά βλέπουμε πως σε όλες τις περιπτώσεις, το subject ήταν μόνο 1. Αυτό συμβαίνει διότι το prompt που δόθηκε ως είσοδο, ήταν το εξής : "Construct a Knowledge Graph about the videogame Crash of the Titans.". Δεν ζητήσαμε από τον κώδικα να μας αναλύσει τους χαρακτήρες, παρα μόνο πληροφορίες για το βιντεοπαιχνίδι. Και στο τρίτο Use Case, παρατηρούμε ξανά, πως τα αποτελέσματα του κώδικα μας, της ολοκλήρωσης του knowledge graph και του συνδυασμού αυτών των 2, υπερτερεί και πάλι από την baseline προσέγγιση. Στο κεφάλαιο 4, θα αναλύσουμε πόσο αξιόπιστα είναι τα γραφήματα που παράξαμε.

## Κεφ.4 Αξιολόγηση

Στο 4ο κεφάλαιο, θα αναλύσουμε όλα τα Use Cases, που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα μας, σε θέμα απόδοσης. Συγκεκριμένα, θα παρουσιάσουμε την διαδικασία αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε, τα αντίστοιχα screenshots των αποτελεσμάτων, όπως και η ανάλυση αυτών των αποτελεσμάτων. Στο τέλος με βάση το Κεφάλαιο 3 και το Κεφάλαιο 4, θα εξηγήσουμε αναλυτικά, γιατί η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε υπερτερεί σε σχέση με την baseline προσέγγιση.

### 4.1 Μεθοδολογία Αξιολόγησης

Η μέθοδος αξιολόγησης των knowledge graph μας, είναι με βάση το ήδη υπάρχον paper [8]. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Two Stage Weighted Cluster Sampling (TWCS). Η συγκεκριμένη μέθοδος, είναι μια βελτίωση της μεθόδου Weighted Cluster Sampling (WCS) [9]. Πρώτα θα αναλύσουμε την WCS μέθοδο. Ξεκινώντας, γενικότερα, μπορεί να υπάρχουν γραφήματα γνώσης, τα οποία να έχουν χιλιάδες, και εκατοντάδες εκατομμύριες τριπλέτες. Αυτομάτως, δεν γίνεται κάθε μια τριπλέτα να αξιολογηθεί manually. Επομένως, η μέθοδος WCS είναι μια μέθοδος, η οποία επιλέγει entity clusters με βάση τις πιθανότητες ανάλογα των μεγεθών τους. Entity Clusters, ονομάζουμε ένα σύνολο τριπλετών, οι οποίες έχουν ένα κοινό entity (subject). [10] Ο τύπος για την επιλογή των clusters είναι  $\pi_i = M_i/M$ . Αφού αξιολογήσουμε manually, την κάθε τριπλέτα του entity cluster, στο πρόγραμμα που έχουμε δημιουργήσει, δίνουμε το ποσοστό κάθε entity cluster, που το ίδιο πρόγραμμα επέλεξε και μας υπολογίζει τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz [11], ο οποίος είναι μια εκτίμηση της μέσης ακρίβειας (ή του ποσοστού των σωστών τριπλετών) σε ολόκληρο το γράφημα γνώσης, βασισμένος στο επιλεγμένο δείγμα συστάδων. Ο τύπος του Hansen-Hurwitz είναι βρίσκεται στην **(Εικόνα 6)**. Η μεταβλητή  $\hat{\mu}_r$  είναι η ακρίβεια του συγκεκριμένου δείγματος, ενώ η μεταβλητή  $n$  αναφέρεται στον αριθμό των entity clusters που επιλέχθηκαν στο δείγμα. Επίσης η μεταβλητή  $N$  αναφέρεται στον συνολικό αριθμό των entity clusters στο δείγμα, ενώ η μεταβλητή  $M$  στο μέγεθος το  $i$ -οστού cluster. Τέλος η μεταβλητή  $t$  είναι ο αριθμός των σωστών τριπλετών στο  $i$ -οστό cluster του δείγματος. Εμείς, όπως προαναφέραμε, χρησιμοποιήσαμε την προτεινόμενη μέθοδο αξιολόγησης TWCS [12]. Η διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο, είναι πως εδώ έχουμε 2 στάδια, ώστε να γίνει η αξιολόγηση. Το πρώτο στάδιο, είναι ακριβώς το ίδιο με την WCS μέθοδο. Επιλέγουμε δηλαδή και πάλι entity clusters με βάση τις πιθανότητες ανάλογα των μεγεθών τους. Μπορούμε όμως να παρατηρήσουμε, πως τα entity clusters τα οποία το πρόγραμμα μας επέλεξε, μπορεί και αυτά με την σειρά τους να έχουν χιλιάδες τριπλέτες το καθένα. Αυτό καθιστά σχεδόν αδύνατη την manual αξιολόγηση, διότι αυτομάτως απαιτεί πολύ χρόνο η αξιολόγηση της κάθε τριπλέτας. Στο δεύτερο στάδιο λοιπόν της μεθόδου TWCS, από αυτά τα entity clusters τα οποία επιλέξαμε, επιλέγουμε από κάθε cluster έναν αριθμό τριπλετών. Οι τριπλέτες που θα επιλεγθούν από κάθε entity cluster είναι  $\min\{M_i, m\}$ . Εφόσον υπολογίσουμε τα ποσοστά του κάθε cluster, και πάλι θα



πρέπει να υπολογίσουμε και τον unbiased estimator, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα η μεταβλητή  $\hat{\mu}$  είναι η ακρίβεια του συγκεκριμένου δείγματος, ενώ  $n$  αναφέρεται στον αριθμό των entity clusters που επιλέχθηκαν στο δείγμα. Έχει γραφτεί και ο κατάλληλος κώδικας που αυτοματοποιεί τις WCS και TWCS μεθόδους. Βέβαια, η αξιολόγηση κάθε τριπλέτας είναι manually.

$$1 - \alpha \text{ CI is } \hat{\mu}_r \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n \left( \frac{N}{M} \tau_{I_k} - \hat{\mu}_r \right)^2}.$$

Εικ.6 (Τύπος Hansen-Hurwitz) [13]

$$\hat{\mu}_{w,m} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \hat{\mu}_{I_k}.$$

The  $1 - \alpha$  CI of  $\hat{\mu}_{w,m}$  is

$$\hat{\mu}_{w,m} \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (\hat{\mu}_{I_k} - \hat{\mu}_{w,m})^2}.$$

Εικ.7 (Τύπος unbiased estimator TWSC) [14]

## 4.2 Αξιολόγηση Multi-Agent προσέγγισης

### 4.2.1 Bribery and Corruption αξιολόγηση

Αρχικά, ξεκινήσαμε την αξιολόγηση των γραφημάτων γνώσης, με το Use Case 1, το οποίο ήταν το bribery and corruption. Το πρόγραμμα επέλεξε 3 συστάδες και από αυτές επέλεξε έναν συγκεκριμένο αριθμό τριπλετών.

**Συστάδα:** <Global Bribery and Corruption>

**Τριπλέτες:**

('<Global Bribery and Corruption, 'hasTrend', "Asia-Pacific remains a hotspot">')

('<Global Bribery and Corruption, 'hasExpertAnalysis', "World Bank">')

('<Global Bribery and Corruption, 'hasLegalFramework', "United Nations Convention Against Corruption">')

('<Global Bribery and Corruption, 'hasExpertAnalysis', "Transparency International">')

('<Global Bribery and Corruption, 'hasTrend', "Increase in digital platforms">')

('<Global Bribery and Corruption, 'hasLegalCase', "Odebrecht Corruption Scandal">')

('<Global Bribery and Corruption, 'hasExpertAnalysis', "World Economic Forum">')

('<Global Bribery and Corruption, 'hasInvestigativeMethod', "Whistleblower Programs">')  
('<Global Bribery and Corruption, 'hasInvestigativeMethod', "Public Hearings">')  
('<Global Bribery and Corruption, 'hasLegalFramework', "Australian Criminal Code">')

**Συστάδα: <Investigative Methods>**

**Τριπλέτες:**

('<Investigative Methods, 'include', "document analysis">')  
('<Investigative Methods, 'include', "witness interviews">')  
('<Investigative Methods, 'include', "undercover operations">')  
('<Investigative Methods, 'include', "wiretapping">')  
('<Investigative Methods, 'include', "forensic accounting">')

**Συστάδα: <Bribery>**

**Τριπλέτες:**

('<Bribery, 'results in', "higher prices for consumers">')  
('<Bribery, 'reduces', "government revenue">')  
('<Bribery, 'causes', "economic decline">')  
('<Bribery, 'undermines', "fair competition">')

Στο παράδειγμά μας, έχουμε επιλέξει ο μέγιστος αριθμός συστάδων που μπορεί το πρόγραμμα να επιλέξει είναι 4 και ο μέγιστος αριθμός τριπλετών είναι 10 για κάθε συστάδα. Κάθε συστάδα μπορεί να έχει μικρότερο αριθμό από τον μέγιστο. Στην περίπτωση μας, έχουμε ένα μικρό γράφημα γνώσης. Δεύτερο βήμα είναι να κάνουμε την manual αξιολόγηση. Τα ποσοστά κάθε συστάδας, είναι ως εξής.  $1\eta = 1.0$ ,  $2\eta = 1.0$ ,  $3\eta = 1.0$ . Παρατηρούμε πως όλες οι τριπλέτες του προγράμματος μας ήταν σωστές. Επομένως αφού εισάγουμε στο πρόγραμμα μας, το κάθε ποσοστό, μας υπολογίζει τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz και το διάστημα εμπιστοσύνης (95%). Σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 100% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα 95%, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται είναι 100%.

Hansen-Hurwitz Estimator (TWCS): 1.0  
Confidence Interval (TWCS): [1.0, 1.0]

**Εικ.8 (Αποτελέσματα αξιολόγησης UC1)**

Αμέσως μετά έγινε και η αξιολόγηση του KG completion για το συγκεκριμένο use case. Το πρόγραμμα επέλεξε 4 συστάδες (entity clusters). Παρατηρούμε ξανά, πως σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 100% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα 95%, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος είναι 100%.

```
Hansen-Hurwitz Estimator (TwCS): 1.0  
Confidence Interval (TwCS): [1.0, 1.0]
```

**Εικ.9 (Αποτελέσματα αξιολόγησης ολοκλήρωσης UC1)**

Επιπροσθέτως έγινε και η αξιολόγηση της baseline προσέγγισης. Και πάλι σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 86.11% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα **95%**, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται μεταξύ **[80.6612, 91.5588] %**.

```
Hansen-Hurwitz Estimator (TwCS): 86.11  
Confidence Interval (TwCS): [80.6612, 91.5588]
```

**Εικ.10 (Αποτελέσματα αξιολόγησης baseline UC1)**

Τέλος, έγινε η αξιολόγηση του συνδυασμού (KG completion και του αρχικού μας προγράμματος). Σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 91% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα **95%**, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται μεταξύ **[0.7368, 1.0853 (1 στην περίπτωση μας)] %**.

```
Hansen-Hurwitz Estimator (TwCS): 0.9110999999999999  
Confidence Interval (TwCS): [0.7368559999999998, 1.0853439999999999]
```

**Εικ.11 (Αποτελέσματα αξιολόγησης συνδυασμού γραφημάτων UC1)**

Αξίζει να σημειωθεί πως στα δικά μας γραφήματα γνώσης, υπάρχουν πολύ περισσότερες τριπλέτες, οι οποίες είναι πιο ακριβείς στο θέμα μας, ενώ στο γράφημα της baseline προσέγγισης δεν είναι τόσο ακριβείς. Για παράδειγμα, μια τριπλέτα στο δικό μας γράφημα είναι η εξής <Global Bribery and Corruption, hasFinancialImpact, "Decreased Foreign Direct Investment">. Αντίθετα, τριπλέτες της baseline προσέγγισης είναι οι <Law, enforcedBy, Government> και <Ethics, guides, Behavior>, οι οποίες δεν είναι τόσο μέσα στο Use Case μας. Τέλος να τονίσουμε, πως πριν την εκτέλεση του προγράμματος αξιολόγησης, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `apply_correction_rules()`, την οποία περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 2.

#### **4.2.2 Cybercrime from the perspective of law enforcement authorities αξιολόγηση**

Στην συνέχεια, έγινε και η αξιολόγηση του δεύτερου Use Case “Cybercrime from the perspective of law enforcement authorities”. Αρχικά στην περίπτωση του γραφήματος γνώσης που έχει παραχθεί από τον κώδικα

μας, έγινε αύξηση του αριθμού μέγιστων τριπλετών σε 15, διότι το γράφημα είναι μεγαλύτερο από το πρώτο use case. Παρακάτω παρέχονται μερικά screenshots από ενδεικτικά entity cluster που επιλέχθηκαν. Η αξιολόγηση της κάθε συστάδας, ήταν η εξής. 1η συστάδα = 1.0 , 2η συστάδα = 1.0 , 3η συστάδα = 1.0, 4η συστάδα = 1.0

**Συστάδα: <Ransomware**

**Τριπλέτες:**

```
('<Ransomware', 'involves', "encrypting data">')
('<Ransomware', 'hasResponseStrategy', "PatchManagement">')
('<Ransomware', 'response', "restore from backups">')
('<Ransomware', 'usesAttackVector', "ExploitKit">')
('<Ransomware', 'hasResponseStrategy', "RegularBackups">')
('<Ransomware', 'usesAttackVector', "RemoteDesktopProtocol">')
('<Ransomware', 'usesAttackVector', "MaliciousEmailAttachments">')
('<Ransomware', 'hasResponseStrategy', "NetworkSegmentation">')
```

**Συστάδα: <AdvancedPersistentThreats**

**Τριπλέτες:**

```
('<AdvancedPersistentThreats', 'hasResponseStrategy',
"ContinuousMonitoring">')
('<AdvancedPersistentThreats', 'usesAttackVector', "SupplyChainAttacks">')
('<AdvancedPersistentThreats', 'hasResponseStrategy',
"ThreatIntelligence">')
('<AdvancedPersistentThreats', 'hasResponseStrategy',
"IncidentResponseTeam">')
('<AdvancedPersistentThreats', 'usesAttackVector', "ZeroDayExploits">')
```

**Συστάδα: <AdvancedPersistenceTimearts**

**Τριπλέτες:**

```
('<AdvancedPersistenceTimearts', 'hasResponseStrategy', "ContinuousMonitoring">')
('<AdvancedPersistenceTimearts', 'usesAttackVector', "SupplyChainAttacks">')
('<AdvancedPersistenceTimearts', 'hasResponseStrategy', "ThreatIntelligence">')
('<AdvancedPersistenceTimearts', 'hasResponseStrategy', "IncidentResponseTeam">')
('<AdvancedPersistenceTimearts', 'usesAttackVector', "ZeroDayExploits">')
```

Σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 100% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα **95%**, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται είναι **100%**.

```
Hansen-Hurwitz Estimator (TwCS): 1.0  
Confidence Interval (TwCS): [1.0, 1.0]
```

Εικ.12 (Αποτελέσματα αξιολόγησης UC2)

Στην συνέχεια, έγινε η αξιολόγηση στο KG Completion. Επειδή ο αριθμός των τριπλετών στο συγκεκριμένο γράφημα ήταν μικρότερος, μειώσαμε τον μέγιστο αριθμό τριπλετών ανά cluster σε 5. Το πρόγραμμα επέλεξε 3 συστάδες. Τα αποτελέσματα έχουν ως εξής. 1η συστάδα = 1.0 , 2η συστάδα = 1.0 , 3η συστάδα = 1.0

Σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 100% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα **95%**, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται είναι **100%**.

```
Hansen-Hurwitz Estimator (TwCS): 1.0  
Confidence Interval (TwCS): [1.0, 1.0]
```

Εικ.13 (Αποτελέσματα αξιολόγησης ολοκλήρωσης UC2)

Τέλος αξιολογήσαμε και την baseline προσέγγιση.

```
Hansen-Hurwitz Estimator (TwCS): 0.95  
Confidence Interval (TwCS): [0.8934196736194167, 1.0065803263805833]
```

Εικ.14 (Αποτελέσματα αξιολόγησης baseline UC2)

Σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 95% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα **95%**, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται είναι **[0.8934,1.0065]**

### 4.2.3 Crash of Titans αξιολόγηση

Τέλος, έγινε και η αξιολόγηση του τελικού Use Case “Crash of Titans”. Το συγκεκριμένο use case είχε μόνο 1 subject, επομένως, επειδή το entity cluster ήταν μόνο 1, έγινε αύξηση του αριθμού των μέγιστων τριπλετών ανά cluster σε 15 και μείωση του αριθμού των μέγιστων επιλεγμένων cluster σε 1. Το πρόγραμμα επέλεξε τις παρακάτω τριπλέτες :

```
("<Crash of the Titans', 'isDevelopedBy', "'Radical Entertainment">")  
("<Crash of the Titans', 'hasCriticalReception', "'IGN score 7.0/10">")  
("<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "'Various locations">")  
("<Crash of the Titans', 'hasGameplayMechanics', "'Removed 100 wumpa fruit = free life">")  
("<Crash of the Titans', 'isForPlatform', "'PlayStation 2">")
```

```

("<Crash of the Titans', 'isPublishedBy', "'Vivendi Games'">")
("<Crash of the Titans', 'isForPlatform', "'PlayStation Portable'">")
("<Crash of the Titans', 'hasGameplayMechanics', "'platforming'">")
("<Crash of the Titans', 'hasReleaseDate', "'2007'">")
("<Crash of the Titans', 'isPublishedBy', "'Vivendi Games'">")
("<Crash of the Titans', 'hasGameplayMechanics', "'Battle arenas'">")
("<Crash of the Titans', 'hasCharacter', "'Crash Bandicoot'">")
("<Crash of the Titans', 'hasSequel', "'Crash Bandicoot: Wrath of Cortex'">")
("<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "'Neo and Nina Cortex plot'">")
("<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "'Save N. Tropy\'s sister'">")

```

Το ποσοστό των σωστών τριπλετών, μετά από την manual αξιολόγηση, ήταν 86.67%.

Σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 86.67% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα **95%**, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται είναι **86.67%**.

```

Hansen-Hurwitz Estimator (TwCS): 0.8667
Confidence Interval (TwCS): [0.8667, 0.8667]

```

**Εικ.15 (Αποτελέσματα αξιολόγησης UC3)**

Στην συνέχεια, έγινε και η αξιολόγηση του KG Completion με τους ίδιους περιορισμούς. Οι τριπλέτες που επέλεξε το πρόγραμμα, ήταν οι παρακάτω:

```

('<Crash of the Titans', 'hasSequel', "Crash: Twinsanity">)
('<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "Stop the evil plans of Dr. Neo Cortex">)
('<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "Save the world from the evil plans of Dr. Neo Cortex">)
('<Crash of the Titans', 'hasDeveloper', "Vicarious Visions">)
('<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "Prevent the evil plans of Dr. Neo Cortex from coming to fruition">)
('<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "Stop the Titans from destroying the world">)
('<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "Prevent the evil plans of Aku Aku and Uka Uka from coming to fruition">)
('<Crash of the Titans', 'hasGameplayMechanics', "Collectibles">)
('<Crash of the Titans', 'hasReception', "Metacritic score 68/100">)
('<Crash of the Titans', 'hasSequel', "Crash Bandicoot: Wrath of Cortex">)
('<Crash of the Titans', 'hasAntagonist', "Aku Aku">)
('<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "Prevent the Titans from taking over the world">)
('<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "Stop the evil plans of Aku Aku and Uka Uka">)
('<Crash of the Titans', 'hasSequel', "Crash: Mind Over Mutant">)
('<Crash of the Titans', 'hasStoryline', "'Save the world from destruction'">)

```

Το ποσοστό των σωστών τριπλετών του KG completion μετά από την manual αξιολόγηση, ήταν 80 %. Σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 80% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα 95%, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται είναι **80%**.

```
Hansen-Hurwitz Estimator (TWCS): 0.8
Confidence Interval (TWCS): [0.8, 0.8]
```

**Εικ.16 (Αποτελέσματα αξιολόγησης ολοκλήρωσης UC3)**

Επιπροσθέτως, έγινε και πάλι, η αξιολόγηση της baseline προσέγγισης, με τους ίδιους περιορισμούς. Παρέχεται και screenshot από τις επιλογές του κώδικα:

```
('<Crash of the Titans', 'antagonist', 'Dr. N. Gin>')
('<Crash of the Titans', 'mainCharacter', 'Coco Bandicoot>')
('<Crash of the Titans', 'plot', "Crash and Coco must stop Dr. Neo Cortex and Dr. N.
Gin from awakening the Titans">')
('<Crash of the Titans', 'feature', "Multiplayer">')
('<Crash of the Titans', 'genre', "Action-adventure">')
('<Crash of the Titans', 'language', "Italian">')
('<Crash of the Titans', 'language', "English">')
('<Crash of the Titans', 'antagonist', 'Dr. Neo Cortex>')
('<Crash of the Titans', 'feature', "Single-player">')
('<Crash of the Titans', 'platform', 'Playstation 3>')
('<Crash of the Titans', 'mainCharacter', 'Crash Bandicoot>')
('<Crash of the Titans', 'language', "German">')
('<Crash of the Titans', 'language', "French">')
('<Crash of the Titans', 'releaseDate', "2010-10-12">')
('<Crash of the Titans', 'isA', 'VideoGame>')
```

Το ποσοστό των σωστών τριπλετών της baseline προσέγγισης μετά από την manual αξιολόγηση, ήταν 73.33%. Σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 73.33% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα 95%, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται είναι **73.33%**.

```
Hansen-Hurwitz Estimator (TWCS): 0.7333
Confidence Interval (TWCS): [0.7333, 0.7333]
```

**Εικ.17 (Αποτελέσματα αξιολόγησης baseline UC3)**

Τέλος, έγινε η αξιολόγηση του συνδυασμού (KG completion και του αρχικού μας γραφήματος).

```
('<Crash of the Titans', 'hasBeenRemastered', "'Yes'">')
('<Crash of the Titans', 'hasReleaseDate', "'2007'">')
```



```

('<Crash of the Titans, 'isDevelopedBy', "'Radical Entertainment">')
('<Crash of the Titans, 'isForPlatform', "'PlayStation 2">')
('<Crash of the Titans, 'hasSequel', "'Crash: Mind Over Mutant">')
('<Crash of the Titans, 'hasBeenRemastered', "'Yes">')
('<Crash of the Titans, 'isForPlatform', "'PlayStation 2">')
('<Crash of the Titans, 'hasGenre', "'Platformer">')
('<Crash of the Titans, 'hasStoryline', "'Stop the Titans from destroying the
world">')
('<Crash of the Titans, 'hasAntagonist', "'Aku Aku">')
('<Crash of the Titans, 'hasGameplayMechanics', "'Collectibles">')
('<Crash of the Titans, 'hasInGameLocation', "'City">')
('<Crash of the Titans, 'isForPlatform', "'Xbox 360">')
('<Crash of the Titans, 'hasStoryline', "'Prevent the evil plans of Dr. Neo Cortex from
coming to fruition">')
('<Crash of the Titans, 'hasGameplayMechanics', "'Intense action">')

```

Το ποσοστό των σωστών τριπλετών του συνδυασμού αρχικού KG και KG completion μετά από την manual αξιολόγηση, ήταν 86.67 %. Σύμφωνα με τον εκτιμητή Hansen-Hurwitz, εκτιμάται ότι **το 80% των τριπλετών στο σύνολο του γραφήματος** είναι σωστές. Το διάστημα εμπιστοσύνης δείχνει ότι, με πιθανότητα 95%, η πραγματική μέση ακρίβεια του γραφήματος βρίσκεται είναι 86.67%.

```

Hansen-Hurwitz Estimator (TwCS): 0.8667
Confidence Interval (TwCS): [0.8667, 0.8667]

```

**Εικ.18 (Αποτελέσματα αξιολόγησης συνδυασμού γραφημάτων UC3)**

Παρατηρούμε, πως οι τριπλέτες του δικού μας KG ήταν περισσότερες από της baseline προσέγγισης, όπως και οι τριπλέτες του KG completion ήταν περισσότερες από της baseline προσέγγισης. Τα αποτελέσματα, δείχνουν για άλλη μια φορά, πως ο δικός μας τρόπος, υπερτερεί σε σχέση με την απλή baseline προσέγγιση.

### **4.3 Σύγκριση Multi-Agent προσέγγισης με την baseline προσέγγιση**

Σύμφωνα με όλα όσα αναφέραμε προηγουμένως σε όλα τα κεφάλαια, μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η προσέγγιση του multi-agent είναι πολύ καλύτερη σε σχέση με την baseline προσέγγιση. Όπως ήταν αναμενόμενο τα αποτελέσματα της MA προσέγγισης, ήταν πιο ακριβής και σωστά σε αντίθεση με την baseline προσέγγιση. Αυτό το αποδείχθηκε από τα παραπάνω πειράματα που εκτελέστηκαν. Στην συνέχεια, όπως συμπεραίνεται και από το 3ο κεφάλαιο, η MA προσέγγιση, έχει περισσότερα στατιστικά σε σχέση με την baseline προσέγγιση (Number of Triples, Total Subjects, Total Objects, Number of relation triples, Number of attribute triples, Number of properties). Αξίζει να



σημειωθεί, πως ο χαμηλός αριθμός λάθος τριπλετών της MA προσέγγισης, οφείλεται και στο γεγονός του search engine agent, ο οποίος προσπαθεί να αναζητά για στοιχεία που όντως υπάρχουν. Τέλος, υπάρχουν περισσότερες λειτουργίες, σε σχέση με την baseline προσέγγιση.

## **Κεφ. 5 Περίληψη, Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις**

Στην συγκεκριμένη εργασία, μελετήσαμε το πρόβλημα της αυτόματης παραγωγής γραφημάτων γνώσης για ένα πεδίο, χωρίς την απαίτηση για προϋπάρχουσα γνώση σε αυτό το πεδίο. Χρησιμοποιήσαμε και επεκτείναμε μία Multi-Agent προσέγγιση, οι οποία αναθέτει διαφορετικούς ρόλους σε διαφορετικά LLM, υπεύθυνα για την ανάκτηση γνώσης του πεδίου (από τα δεδομένα εκπαίδευσης), αναζήτηση γνώσης σε εξωτερικές πηγές, τη δόμηση της απάντησης σε μορφή γραφήματος γνώσης, καθώς και τον συντονισμό των υπόλοιπων LLMs.

Αρχικά έγινε τροποποίηση των prompt των agents, ώστε να παράγουν αποτελέσματα σε μορφή τριπλετών (<subject, predicate, object>), αντί για απλό κείμενο που ήταν στην αρχή. Αυτόματα η διαδικασία ελέγχου και επεξεργασίας του γραφήματος γίνεται πιο εύκολη, κατανοητή και απαιτεί λιγότερο χρόνο στην επεξεργασία του.

Στην συνέχεια υλοποιήθηκε διαγραμματική αναπαράσταση των knowledge graphs, ώστε να οδηγήσει στην διευκόλυνση της κατανόηση και ανάλυση της δομής του γραφήματος γνώσης. Επιπροσθέτως η αξιολόγηση του κώδικα βασίστηκε στο paper “Efficient Knowledge Graph Accuracy Evaluation [15]”, και ειδικότερα, στην TWSC μεθοδολογία. Η μεθοδολογία αυτή πλέον είναι αυτόματη, χάρη την δημιουργία κώδικα που την αυτοματοποιεί. Μέσω των αξιολογήσεων, αποδείξαμε πως η Multi-Agent προσέγγιση είναι περισσότερο αποδοτική, ενώ μάλιστα έχει και πολύ καλύτερα στατιστικά σε σχέση με την Baseline προσέγγιση.

Τέλος παρουσιάστηκαν οι προσεγγίσεις Knowledge Graph completion, και Baseline προσέγγισης. Η πρώτη προσέγγιση αναφέρεται στην δημιουργία νέων σχέσεων μεταξύ των ήδη υπαρχόντων οντοτήτων στον γραφήματος γνώσης, ενώ στην baseline προσέγγιση, αναφέρεται στην δημιουργία γραφημάτων γνώσης χωρίς την λογική Multi-Agent, και μας επιτρέπει να κάνουμε συγκρίσεις με την Multi-Agent λογική, ώστε να εξάγουμε τα κατάλληλα συμπεράσματα για την ποιότητα του κώδικα μας.

Μελλοντικά, η παρούσα εργασία μπορεί να επεκταθεί με την ενσωμάτωση πλήρως αυτοματοποιημένων μεθοδολογιών αξιολόγησης των knowledge graphs, την εφαρμογή σε μεγαλύτερης κλίμακας συστήματα και τη βελτιστοποίηση των agents για πιο εξειδικευμένες κατηγορίες γραφημάτων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημοσιεύσει ς	
	Yuqi Zhu · Xiaohan Wang · Jing Chen · Shuofei Qiao · Yixin Ou · Yunzhi Yao · Shumin Deng · Huajun Chen · Ningyu Zhang (2024)

	. LLMs for knowledge graph construction and reasoning: recent capabilities and future opportunities doi: <a href="https://doi.org/10.1007/s11280-024-01297-w">https://doi.org/10.1007/s11280-024-01297-w</a>
	Junyang Gao, Xian Li Yifan Ethan Xu, Bunyamin Sisman, Xin Luna Dong, Jun Yang Duke University, Amazon.com (2019) . Efficient Knowledge Graph Accuracy Evaluation capabilities and future opportunities source: <a href="https://arxiv.org/pdf/1907.09657">https://arxiv.org/pdf/1907.09657</a>
	ZHE CHEN , YUEHAN WANG, BIN ZHAO, JING CHENG, XIN ZHAO, AND ZONGTAO DUAN. (2020) Knowledge Graph Completion: A Review source: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/9220143/">https://ieeexplore.ieee.org/document/9220143/</a>
	Humza Naveeda, Asad Ullah Khanb,, Shi Qiuc,, Muhammad Saqibd,e,, Saeed Anwarf,g, Muhammad Usmanf,g, Naveed Akhtarh,j, Nick Barnesi, Ajmal Mianj. (2024) A Comprehensive Overview of Large Language Models source: <a href="https://arxiv.org/pdf/2307.06435">https://arxiv.org/pdf/2307.06435</a>
	Wayne Xin Zhao, Kun Zhou*, Junyi Li*, Tianyi Tang, Xiaolei Wang, Yupeng Hou, Yingqian Min, Beichen Zhang, Junjie Zhang, Zican Dong, Yifan Du, Chen Yang, Yushuo Chen, Zhipeng Chen, Jinhao Jiang, Ruiyang Ren, Yifan Li, Xinyu Tang, Zikang Liu, Peiyu Liu, Jian-Yun Nie and Ji-Rong Wen (2024). A Survey of Large Language Models source: <a href="https://arxiv.org/pdf/2303.18223">https://arxiv.org/pdf/2303.18223</a>
<b>Έγγραφο στο Διαδίκτυο</b>	Vinay K. Chaudhri, Naren Chittar, Michael Genesereth (2021) .An Introduction to Knowledge Graphs source: <a href="https://ai.stanford.edu/blog/introduction-to-knowledge-graphs/">https://ai.stanford.edu/blog/introduction-to-knowledge-graphs/</a>

**Github Code :**

[Bachelor-Thesis-Auto-Knowledge-Graph-Using-LLMs/README.md at main · chrysanthiwork/Bachelor-Thesis-Auto-Knowledge-Graph-Using-LLMs](#)