



ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Προτεινόμενα Θέματα Διπλωματικής Εργασίας

Από

Άγγελο Χαραλαμπίδη

A. Κατασκευή αποδοτικών δομών BDD (binary decision diagrams) με ευρετικές που μαθαίνονται

Περιγραφή:

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και την εφαρμογή ευρετικών μεθόδων που είναι αποτέλεσμα μεθόδων μηχανικής μάθησης ώστε να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή αποδοτικών δομών δεδομένων BDD (Binary Decision Diagrams). Τα BDDs είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς παρέχουν μια συμπυκνωμένη αναπαράσταση λογικών συναρτήσεων, επιτρέποντας τη συμπίεση εκθετικών αποφάσεων σε μικρό χώρο. Αυτό τα καθιστά απαραίτητα για την επίλυση προβλημάτων σε τομείς όπως η επαλήθευση υλικού, η τεχνητή νοημοσύνη και η συνδυαστική βελτιστοποίηση. Ο Donald Knuth λέει για τα BDDs: "one of the only really fundamental data structures that came out in the last 25 years".

Ένα από τα κρίσιμα στοιχεία στην κατασκευή αποδοτικών BDDs είναι η σειρά των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται, καθώς αυτή επηρεάζει άμεσα το μέγεθος και την αποδοτικότητα της δομής. Αν γίνει λάθος επιλογή μεταβλητών τότε ο χώρος που καταλαμβάνει η δομή δεδομένων θα είναι μεγάλος. Έτσι χρησιμοποιούνται ευρετικές συναρτήσεις που αποφασίζουν κάθε φορά ποιες μεταβλητές πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Στόχος μας είναι να διερευνήσουμε πώς η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μπορεί να βελτιστοποιήσει τη διαδικασία κατασκευής BDDs, επιτρέποντας την αυτόματη προσαρμογή των ευρετικών σε διαφορετικά προβλήματα και την βελτιστοποίηση των μεταβλητών.

Στόχοι και παραδοτέα:

Στόχος μας είναι να διερευνήσουμε πώς η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μπορεί να βελτιστοποιήσει τη διαδικασία κατασκευής BDDs, επιτρέποντας την αυτόματη προσαρμογή των ευρετικών σε διαφορετικά προβλήματα και την βελτιστοποίηση των μεταβλητών.

Μαθησιακά αποτελέσματα:

- Κατανοεί τη θεωρία και τις βασικές ιδιότητες των BDDs (Binary Decision Diagrams) και τον ρόλο τους στην αναπαράσταση λογικών συναρτήσεων.
- Εφαρμόζει μεθόδους μηχανικής μάθησης για την κατασκευή ευρετικών.

References

- [1]: https://en.wikipedia.org/wiki/Binary_decision_diagram
- [2]: <https://www.youtube.com/watch?v=SQE21efsf7Y>
- [3]: <https://www.youtube.com/watch?v=-HzQYeqS9Wc>
- [4]: <https://course.ccs.neu.edu/cs580ogc/parent/buddy-2.4/doc/bddnotes.pdf>
- [5]: <https://github.com/SSoelvsten/buddy>

B. Τεχνικές για την αποτίμηση Quantified Boolean Formulas υψηλής τάξης

Περιγραφή:

Οι SOQBFs (Second Order Quantified Boolean Formulas) αποτελούν μια επέκταση των γνωστών Quantified Boolean Formulas (QBFs) που με την σειρά τους επεκτείνουν τις λογικές φόρμουλες και το γνωστό πρόβλημα SAT. Οι QBFs χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης και της επαλήθευσης λογισμικού. Η σημασία των SOQBFs έγκειται στην ικανότητά τους να μοντελοποιούν πιο σύνθετα προβλήματα, προσφέροντας μεγαλύτερη εκφραστικότητα σε σχέση με τις QBFs. Παρόλη την δυσκολία επίλυσης των προβλημάτων SAT και QSAT υπάρχουν πολλοί και αποδοτικοί επιλυτές. Η υλοποίηση ενός επιλυτή SOQBFs θα μπορούσε να ανοίξει νέους δρόμους στην επίλυση προβλημάτων που απαιτούν πολύπλοκες λογικές εκφράσεις, ενισχύοντας την εφαρμογή τους σε τομείς όπως η επαλήθευση υλικού, την σύνθεση συστημάτων (system synthesis) και του σχεδιασμού πολυπρακτορικών πλάνων (multi-agent planning).

Στόχοι και παραδοτέα:

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η αξιολόγηση και προσαρμογή ήδη γνωστών αλγορίθμων επίλυσης και τεχνικών των QBFs στις SOQBFs. Αποτελέσματα της διπλωματικής θα είναι 1) άρθρο με την περιγραφή των τεχνικών 2) κώδικας πρωτότυπου που θα υλοποιεί τον επιλυτή.

Μαθησιακά αποτελέσματα:

- Κατανοεί σε βάθος την θεωρία και την πράξη των SAT, QBF επιλυτών
- Αναλύει την υπολογιστική δυσκολία τέτοιων προβλημάτων
- Τεκμηριώνει και παρουσιάζει τα αποτελέσματα της έρευνάς του

References

[1]: https://en.wikipedia.org/wiki/Boolean_satisfiability_problem

[2]: https://en.wikipedia.org/wiki/True_quantified_Boolean_formula

[3]: Jiang, J.-H.R. 2023. Second-Order Quantified Boolean Logic. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 37, 4 (Jun. 2023), 4007-4015.
DOI:<https://doi.org/10.1609/aaai.v37i4.25515>.

[4]: Unno, Tsukada, and Jiang "Solving Higher-Order Quantified Boolean Satisfiability via Higher-Order Model Checking", AAAI25, 2025
<https://www.riec.tohoku.ac.jp/~unno/papers/aaai2025.pdf>

[5]: A. Shukla, A. Biere, L. Pulina and M. Seidl, "A Survey on Applications of Quantified Boolean Formulas," 2019 IEEE 31st International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), Portland, OR, USA, 2019, pp. 78-84, doi: 10.1109/ICTAI.2019.00020.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8995437>

C. Αντιμετώπιση αντιφάσεων σε βάσεις δεδομένων

Περιγραφή:

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη μελέτη και την ανάπτυξη τεχνικών για την αποτίμηση ερωτημάτων σε βάσεις δεδομένων που περιέχουν αντιφατική ή ασυνεπή πληροφορία. Σε πολλές περιπτώσεις, δεδομένα συλλέγονται από ετερογενείς και ενδεχομένως αντιφατικές πηγές (π.χ. crowdsourcing, open data, multi-agent συστήματα), με αποτέλεσμα την εμφάνιση ασυνεπειών που καθιστούν τις παραδοσιακές μεθόδους επερώτησης ανεπαρκείς.

Η εργασία μπορεί να εξετάσει την ενσωμάτωση προτιμήσεων του χρήστη ή των πηγών (π.χ. αξιοπιστία, ενημερότητα, προτεραιότητα) ως μηχανισμό επίλυσης συγκρούσεων, επιτρέποντας την ανοχή στην ασυνέπεια (inconsistency-tolerance) κατά την εκτέλεση των ερωτημάτων. Μία βασική ιδέα της εργασίας είναι η μετατροπή των ασυνεπών βάσεων και των ερωτημάτων σε προγράμματα ASP, στα οποία ενσωματώνονται προτιμήσεις, πχ μέσω διατεταγμένης διάζευξης (π.χ. $A \times B$ σημαίνει "προτιμάται A, αλλά αν δεν είναι εφικτό τότε B"). Μέσω αυτής της τεχνικής, είναι δυνατός ο υπολογισμός προτιμησιακά βέλτιστων απαντήσεων (preferred models), λαμβάνοντας υπόψη τις συγκρούσεις και επιλέγοντας τις «καλύτερες» λύσεις σύμφωνα με τις δηλωμένες προτιμήσεις.

Μία άλλη ενδιαφέρουσα κατεύθυνση είναι η μελέτη και ανάπτυξη τεχνικών για σταδιακή επεξεργασία των αντιφατικών δεδομένων ειδικά όταν οι βάσεις δεδομένων μεταβάλλονται συχνά. Σε τέτοια περιβάλλοντα, η κλασική επανεκτέλεση ερωτημάτων από την αρχή είναι ανεπαρκής και αναποτελεσματική, ιδιαίτερα για μεγάλα ή χρονικά ευαίσθητα συστήματα.

References

- [1]: Bertossi et al, Introduction to Inconsistency Tolerance, https://doi.org/10.1007/978-3-540-30597-2_1
- [2]: Bienvenu et al, Querying Inconsistent Description Logic Knowledge Bases under Preferred Repair Semantics, <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/8855>
- [3]: Bertossi, Database Repairs and Consistent Query Answering: Origins and Further Developments, <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3294052.3322190>
- [4]: Arenas et al, Answer Sets for Consistent Query Answering in Inconsistent Databases, <http://arxiv.org/abs/cs/0207094>



ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

D. Γενίκευση του Συστήματος AlphaGeometry για Αυτόματη Απόδειξη Μαθηματικών Θεωρημάτων πέρα από τη Γεωμετρία

Περιγραφή:

Το AlphaGeometry αποτελεί ένα νέο σύστημα αυτόματης απόδειξης θεωρημάτων γεωμετρίας, το οποίο συνδυάζει νευρωνικά δίκτυα (για την πρόταση καινούργιων σημείων) με συμβολικούς αλγορίθμους (για την επικύρωση και κατασκευή έγκυρων αποδείξεων). Πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του σύγχρονου ρεύματος neuro-symbolic AI, όπου η υπολογιστική μάθηση συνεργάζεται με συμβολικούς συλλογισμούς για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων.

Το κεντρικό ερώτημα που ανακύπτει — και αποτελεί τον πυρήνα της παρούσας εργασίας — είναι: Μπορεί η προσέγγιση του AlphaGeometry να επεκταθεί και να εφαρμοστεί και σε άλλα μαθηματικά πεδία πέρα από τη γεωμετρία;

References

[1]: <https://deepmind.google/discover/blog/alphageometry-an-olympiad-level-ai-system-for-geometry/>

[2]: https://www.reddit.com/r/math/comments/19fg9rx/some_perspective_on_alphageometry/?rdt=41153

[3]: <https://mathoverflow.net/questions/463937/what-mathematical-problems-can-be-attacked-using-deepminds-recent-mathematical/463940#463940>