

Szegedi Tudományegyetem
Informatikai Intézet

A nagy nyelvi modellek szemantikus képességeinek konzisztenciájának
vizsgálata

Analyzing the Consistency of Semantical Capabilities of Large
Language Models

Szakdolgozat

Készítette:
Fábián Bernát
Programtervező informatikus szakos
hallgató

Témavezető:
Dr. Berend Gábor
egyetemi docens

Szeged
2025

Feladatkiírás

A hallgató feladata egy olyan keretrendszer megvalósítása, amely lehetővé teszi a nagy nyelvi modellek szemantikával kapcsolatos képességeinek konzisztenciájának vizsgálatát. A kiértékelés során azt vizsgálja a keretrendszer, hogy a nagy nyelvi modellek válaszai milyen érzékenységet mutatnak olyan invariációkra, amelyek az emberi válaszadásra nincsenek befolyással. A kísérletek során a nagy nyelvi modellek azzal kapcsolatos érzékenységének vizsgálata a cél, hogy mennyiben érzékenyek a nagy nyelvi modellek a Word-in-Context nevű feladat megoldása során az egyes inputokban szereplő mondat-párosok sorrendjének megcserélésére.

Tartalmi összefoglaló

A téma megnevezése

A nagy nyelvi modellek szemantikus képességeinek konzisztenciájának vizsgálata.

A feladat megfogalmazása

A vizsgálathoz használandó adathalmaz a Word-in-Context dataset. A kérdéseket egyenes és fordított sorrendben is fel kell tenni a modelleknek, majd összehasonlítani a válaszaikat az azonos tartalmú, de felcserélt szósorrendű kérdésekre, továbbá összemérve azt a gold standard alappal.

A megoldási mód

Akkor tekintjük helyesnek a megoldást, ha a program futtatásával a kiválasztott modell a kért mennyiséggű, egyértelmű igen/nem választ képes generálni az eldöntendő kérdésekre, továbbá a kérdéseket össze tudjuk vetni a fordított párrukkal és a gold standarddal. A válaszainak helyessége másodlagos, de nem elhanyagolható. A nyelvi modellek a Hugging Face platformról lesznek kiválasztva.

A program bemenete tetszőleges formátumú kérdéshalmazból, és tetszőleges modell a Hugging Face platformról. A program során keletkező hibákat le kell kezelni.

A megoldás kulcsa olyan szoftver fejlesztése, amely mindezt minél egyszerűbbé, automatizáltabbá és gördülékenyebben teszi.

Az alkalmazott eszközök, módszerek

Alkalmazott eszközök:

- Google Colab és PyCharm, Python futtatókörnyezet
- Git, GitHub
- Hugging Face
- A torch, transformers, accelerate és számos egyéb Python könyvtár a Hugging Face modellek használatához

,

Alkalmazott módszerek:

- Objektumorientált programozás

Elérhető eredmények

Elkészült a keretrendszer, egy Python konzolos program, amely képes tetszőleges Hugging Face modell válaszra bírását, valamint kiértékelését automatizálni. Egyetlen kattintással vagy terminál parancssal képes elvégezni a modell inferenciákat az inputként megadott adathalmazon és elvégezni a nyelvi konzisztencia tesztet, statisztikákat készítve az eredményekből.

Kulcsszavak

Nagy nyelvi modell, Word-in-Context, nyelvi konzisztencia, teljesítmény-összehasonlítás

Tartalomjegyzék

Feladatkiírás	2
Tartalmi összefoglaló	3
Motiváció	6
1. Elméleti háttér	7
1.1. Problémafelvetés	7
1.2. Hasonló megoldások	7
1.2.1. Nyelvi modellek összehasonlítását segítő eszközök	8
1.2.2. Nyelvi modellek lokális telepítését és futtatását segítő eszközök	8
1.3. Az én szoftverem előnyei korábbiakhoz képest	8
1.4. A többértelműség problémája a természetes nyelvekben	9
1.5. A Word-in-Context feladat	9
1.6. Egy rendszer feladata a WiC adathalmazon	10
1.7. Az én céljaim ehhez képest	10
1.8. Bináris osztályozás	11
1.9. A WiC adathalmaz eredete	11
1.9.1. Korábbi eredmények a WiC adathalmazon	12
2. Nagy nyelvi modellek	14
Nyelvi modell alapfogalmak	14
2.1. A prompt	14
2.2. Inferencia	15
2.3. Determinisztikus következtetés, hőmérséklet, top-p és top-k	15
2.4. Maximum kimeneti tokenek és kontextusablak	16
2.5. Logikai szövegkövetkeztetési konzisztencia	16
3. Google Colab	17
3.1. Fejlesztés Google Colabban	17
3.2. Google Colab futtatás	17
4. A szoftver: modellt futtató és kiértékelő keretrendszer fejlesztése PyCharm-ban	19
4.1. Tervezés	19
4.2. Fejlesztés	21
4.2.1. Globális scope	21
4.2.2. A modulok szerkezete	21
4.2.3. ModelInputPreparer	22
4.2.4. HuggingFaceModelInferencer	24

4.2.5. ModelOutputProcessor	26
4.3. Tesztelés	29
4.3.1. A programok futtatása	29
4.4. Egyebek	30
4.4.1. Elnevezési stílus	30
4.4.2. Hibakezelés	30
4.4.3. Dupla importok	30
4.4.4. Kommentek	31
4.4.5. Platformfüggetlenség	31
4.4.6. Skálázhatóság, bővíthetőség	31
4.5. Jövőbeli tervek	31
5. Kísérlet	32
5.1. Módszertan	32
5.2. Nehézségek	33
5.3. Méret- és konzisztencia-arányban megfelelő nyelvi modellek kiválasztása és összehasonlítása	33
5.4. Hárrom modell összehasonlítása 100 véletlenszerű kérdésen	34
6. Konklúzió	36
Nyilatkozat	40
Köszönetszöveg	41
Elektronikus mellékletek	42

Motiváció

Az informatika és a nyelvtechnológia fejlődésével a generatív mesterséges intelligencia minden napjaink részévé vált. A nyelvi modellek kiértékelésére számos teljesítményteszt (benchmark) fejlődött ki az évek során. Az egyik legnépszerűbb ilyen teljesítményteszt a SuperGLUE Benchmark [1], amely 8, emberi nyelvi megértést igénylő nagyon nehéz érvelés-orientált feladat elő állítja a nyelvi modelleket. A WiC (Word-in-Context) probléma [2] a SuperGlue 8 feladatának egyike. Az emberi szöveget értő nyelvi modellek fejlesztése kiemelten fontos mind az akadémiai kutatásban, mind a gyakorlati alkalmazásokban. Az angol nyelvű szövegek feldolgozása nem csak az angolszász területeken releváns, hanem Magyarországon is, hiszen az angol nyelv használata a számítógépek világában minden napjaink része. Az egyetem és a helyi vállalatok is aktívan foglalkoznak természetesnyelv-feldolgozási (NLP) megoldásokkal. Az AI megoldások - például Hugging Face [3] nyelvi modellek használatának - ismerete előnyt jelent mind a munkahelyeken, mind a magánéletben. IT területen különösen nagy előnyt jelent az AI megfelelő használatának ismerete, például a munkafolyamatok automatizálásában. Egy hatékony szoftver, amely képes Hugging Face modelleket futtatni, tehát nemcsak tudományos értekkel bír, hanem gyakorlati alkalmazásokban is közvetlen hasznát hozhat, főleg a nyelvészeti informatikai területen dolgozók számára.

1. fejezet

Elméleti háttér

1.1. Problémafelvetés

A nyelvi modellek gyakran érzékenyek a felhasználótól kapott prompt szósorrendjére. Architektúrájukból adódóan a modellek esetén nincs garancia, hogy bizonyos, emberek számára triviális invariantokat konzisztensen kezeljenek. Emiatt előfordul, hogy szemantikailag azonos értelmű, de más szósorrendű input prompratra inkonzisztens viselkedést mutatnak. Erre fókuszál a szakdolgozatom. Hogy majd az eredményekből következtetést lehessen levonni, két hipotézist fogalmazok meg. Egyrészt valószínűsíthető és feltételezem, hogy minél nagyobb paraméterszámú egy model, annál jobban fog teljesíteni a megfogalmazott feladatra. Továbbá méretnövekedéssel történő teljesítményjavulás mértéke is kérdéses és érdekel. Másrészt közel azonos méretű, de különböző cégek által fejlesztett modellek teljesítménye között is óriási különbség lehet, még akkor is, ha azok azonos célra, pl. utasítás-végrehajtásra készültek (*instruct* modellek). Emiatt azt is feltételezem, hogy lesznek különbségek az ilyen hasonló méretű, de eltérő architektúrájú modellek között. A szakdolgozatom, pontosabban a szoftverem tesztelésének eredményei ezeket a hipotéziseket vagy megerősítik, vagy megcáfolják és ezekre a feltevésekre majd a konklúzió fejezetben reagálok.

Ehhez szükség lesz egy - lehetőleg lokális környezetben futó - programra, ahol különböző modellek telepítése és használata lehetséges.

1.2. Hasonló megoldások

Az elmúlt években számtalan, a nagy nyelvi modellek szemantikus konzisztenciájával, illetve logikai stabilitásával kapcsolatos cikk jelent meg, jól mutatva, hogy a téma nagy népszerűségnek örvend. A Google Scholar például 22 100 találatot listáz az *analyzing the semantical consistency of large language models* kifejezésre, amelyeknek a java részét az elmúlt években publikálták. [4]. A törekvés, hogy generatív modellek lokális telepítésére, futtatására és összehasonlítására szolgáló eszközöket hozunk létre nem újkeletű, hiszen egy jó modell jelentősen megkönyíti a munkafolyamatokat, a lokalizálása pedig biztonságosabbá és olcsóbbá teszi a használatukat. Számos hasonló témajú és ötletű projekt született az elmúlt években. Az alábbiakban bemutatok párat.

1.2.1. Nyelvi modellek összehasonlítását segítő eszközök

A különböző nyelvi és nem nyelvi modellek összehasonlítására egyre több projekt létezik, amelyeket nagy érdeklődés övez és nagy aktív felhasználó és fejlesztő-bázissal rendelkeznek. Például a Hugging Face Open LLM Leaderboard Model Comparator [5], amely elsősorban nyílt forráskódú ingyenes modellek összehasonlítására alkalmas, akár webesen, akár saját eszközre telepítve, továbbá a LM Arena [6] webes felület, ahol fizetős modellek is kipróbálhatók korlátozottan, viszont csak a weboldalon keresztül. Ezeken a platformokon különböző modellek teljesítményét lehet összehasonlítani különböző feladatokon, beleértve a WiC feladatot is. Azonban ezek a platformok nem kifejezetten a nyelvi konzisztencia tesztelésére lettek kitalálva, amely a kutatásom központi eleme. A szoftver lefejlesztése előtt átelemeztem az jelenlegi legjobb módszereket és nyílt forráskódú nyelvi modelleket a Témavezetőm által javasolt LM Arena és Hugging Face felületein, továbbá az utóbbiak futtatásának dokumentációját tanulmányoztam, mert azokra a szoftver elkészítéséhez szükség volt.

1.2.2. Nyelvi modellek lokális telepítését és futtatását segítő eszközök

Az utóbbi években egyre elterjedtebbek lettek azok a közösségi kezdeményezések és eszközök is, amelyek lehetővé teszik nagy nyelvi modellek helyi — internetkapcsolat nélküli vagy privát környezetben is elérhető — futtatását. Ez létfontosságú adatvédelmi, költségcsökkentési és kutatási okokból is. Ilyen eszközök:

- A Témavezetőm által ajánlott Ollama [7] CLI + desktop alkalmazás helyi API-jal sok nyílt modellt támogat.
- A szintén a Témavezetőm által ajánlott llama.cpp [8] egy nyílt forráskódú C/C++ projekt.
- A szintén a Témavezetőm által ajánlott v11m [9] szintén egy aktívan fejlesztett nyílt forráskódú projekt, amely elsősorban a memóriagazdálkodásra fókuszál.
- Az LM Studio [10] grafikus felület. Modellmenedzsment, többszörös modellváltás, helyi inferencia elérhető benne.
- text-generation-webui [11]: webes frontend, backendként pl. llama.cpp, nagyon rugalmas, sokféle modellt és konfigurációt támogat.
- A GPT4All [12]: kezdeti belépő a helyi LLM-használatba — CPU-barát, alacsony küszöb, egyszerű használat jellemzi.

1.3. Az én szoftverem előnyei korábbiakhoz képest

A fent említett platformokhoz hasonlóan a megoldásom lehetővé teszi a nagy nyelvi modellek lokális telepítését, futtatását, továbbá az összehasonlítását is, ezáltal alkalmassá téve a szoftveremet konzisztens viselkedés hiányának a megállapítására. Az én projektem ugyan nem biztosít olyan kényelmes grafikus felületet, vagy a webes szolgáltatásokat, mint a legtöbb fent felsorolt projekt, ám abban nyújt többet, hogy a Word-in-Context

benchmarkon való tesztelésre sokkal alkalmasabb, mint az előbbiekt, hiszen kifejezetten erre készült. Aki kedveli a Python és konzolos alkalmazásokat, annak az én megoldásom kényelmesebb lehet. Ráadásul nem csak egyesével lehet beadni a modelleknek a promptokat, hanem egy futtatásra tetszőlegesen sok inferenciát kiszámíthatunk, - olyan, mintha mindegyik prompt "új chatbe" kerülne - amely jelentős előny a legtöbb felsorolt projekt-hez képest. A megoldásom során törekedtem arra, hogy minél több modell támogatott legyen, továbbá a keretrendszer a bárki által ingyen kipróbálható legyen, ezért ingyenesen elérhető és nyílt forráskódú eszközöket (Python, GitHub, Hugging Face) használtam.

1.4. A többértelműség problémája a természetes nyelvekben

A természetes nyelvekben a programozási nyelvekkel ellentétben egy szónak több, egymástól teljesen elkülönülő jelentése is lehet. Például az "egér" szó jelenthet egy számítógépes perifériát vagy egy állatot, és a helyes értelmezéshez a környező szavakat ismerni kell. Az ilyen jellegű többértelműségek automatikus feloldása az egyik központi problémája a természetes nyelvi rendszerek fejlesztésének. Ez az alapja a Word-in-Context feladatnak is.

1.5. A Word-in-Context feladat

A Word-in-Context adathalmaz egy jó minőségű, nyelvészeti szakértők által készített benchmark adathalmaz. A mondatok a WordNetből, a VerbNetből és a Wikiszótárból származnak. minden sor egy azonos és különböző jelentésű mondatpárt bináris osztályozási feladatát fogalmazza meg. A WiC adathalmaz segítségével megvizsgálhatjuk, hogy egy rendszer (modell, algoritmus) mennyire képes a szavak jelentését megérteni különböző kontextusokban.

A Word-in-Context feladatot 2019-ben fogalmazták meg Mohammad Tahmed Pilehar és munkatársai, abból a célból, hogy különböző transzformer és szóbeágyazásos modelleket vizsgáljanak a feladat által megfogalmazott teljesítményteszten. A WiC feladat lényege, hogy egy adott szó két különböző mondatbeli előfordulásáról eldöntse, hogy azonos értelemben szerepel-e. Az ezt a feladatot megfogalmazó adathalmazt alkalmasnak találtuk a Témavezetőmmel az általa megfogalmazott teljesítményteszt, a nagy nyelvi modellek szemantikus képességei konzisztenciájának vizsgálata elvégzéséhez. Ez az adathalmaz ideális, mivel eleve bináris osztályozás, és a feladat a szójelentés megértésén alapul.

A Word-in-Context háttere

A WiC csapata alapvetően a folyamatosan fejlődő modelleknek igyekezett egy nehezebb, korszerű teljesítménytesztet állítani. Míg korábban a statikus szóbeágyazások, mint például a Word2vec és a GloVe voltak elterjedtek a szójelentés feloldására, ma már elavult módszereknek számítanak. Ezek a statikus szóbeágyazások tervezésükönél adódóan nem képesek modellezni a szavak szemantikájának dinamikus természetét, vagyis azt a tulajdonságot, hogy a szavak potenciálisan különböző jelentéseknek felelhetnek meg.

Egy szóhoz minden ugyanazt a szövektort rendelik, kontextustól függetlenül. A kontextualizált szóbeágyazások kísérletet tesznek ennek a korlátnak a feloldására azáltal, hogy dinamikus reprezentációkat számítanak ki a szavakhoz, amelyek a szövegkörnyezet alapján képesek alkalmazkodni. Ilyen szóbeágyazás transzformer például a BERT, ám ennek is megvannak a korlátai. A mai igazán modern megoldások viszont már mély tanulást és jellemzően neurális hálókat használnak a modellek szójelentés-értelmező képességeinek fejlesztésére.

1.6. Egy rendszer feladata a WiC adathalmazon

Amikor valaki kiértékelő rendszert fejleszt a WiC benchmarkra, annak feladata a szavak szándékozott jelentésének azonosítása. A WiC egy bináris osztályozási feladatként van megfogalmazva. Adott egy többjelentésű szó, amely minden mondatban előfordul, továbbá egy szófaj címke, kettő index és két szövegrészlet. Egy rendszer feladata, hogy meghatározza, hogy a szó ugyanabban a jelentésben használatos-e minden mondatban. A w célszó minden esetben csak egy ige vagy főnév lehet. A célszóhoz két eltérő szövegkörnyezet tartozik. Ezen szövegkörnyezetek mindegyike a w egy specifikus jelentését váltja ki. A feladat annak megállapítása, hogy a w előfordulásai a két szövegkörnyezetben ugyanannak a jelentésnek felelnek-e meg, vagy sem. Tehát a célszó ugyanazt a jelentést hordozza-e két különböző szövegkörnyezetben, vagy eltérőt. Ez egy összetett NLP probléma, mivel ötvözi a szójelentés-egyértelműsítés (Word Sense Disambiguation, WSD) és a kontextuális beágyazások elemeit, így a szójelentés-egyértelműsítés végrehajtásaként is értelmezhető.

1.7. Az én céljaim ehhez képest

Ez a SuperGlue feladat, a Word-in-Context alapján készíthetők olyan promptok, amelyek hasznosnak bizonyulhatnak az inkonzisztens viselkedés detektálására. A kutatásom célja a témaünnep megfelelően a modellek teljesítményének összehasonlítása a WiC-ből szedett kérdéseken volt, ám a többi Word-in-Context ranglétrán látható rendszerrel ellentétben az én céлом nem az volt, hogy minél több kérdésre a gold standard¹ szerint válaszoljon a vizsgált modell, hanem hogy a szavak sorrendje ne befolyásolja a válaszadásukat. Más szóval megvizsgálom, hogy mások által készített nagy nyelvi modellek válaszai milyen érzékenységet mutatnak olyan invariánciákra, amelyek az emberi válaszadásra nincsenek befolyással. Egész pontosan a

Does the word ‘w’ mean the same thing in ‘s1’ and ‘s2’?

és a

Does the word ‘w’ mean the same thing in ‘s2’ and ‘s1’?

¹A gold standard egy szakértők által hitelesen és konzisztensen annotált adathalmaz, amely viszonyítási alapként szolgál automatikus rendszerek teljesítményének kiértékeléséhez.

kérdésekre mindenig ugyanazt kellene, hogy válaszolják (változatlan w , $s1$ és $s2$ esetén, ahol w egy szó, $s1$ az első példamondat, és $s2$ a második példamondat). Ezek az egyszerű logikai invariancia - a két mondat sorrendjének felcserélése - az ember számára könnyen felismerhető és belátható, hogy a kérdés értelmét nem módosítja, ám a nyelvi modellek, főleg az alacsony, "csak" pár milliárd paraméterszámúakat könnyen összeavarja.

A fenti felcserélés egy klasszikus logikai invariancia teszt. Ha $A \wedge B$ igaz, akkor $B \wedge A$ -nak is igaznak kell lennie. Ebből következően ha a modell szerint a w szó jelentése azonos $s1$ és $s2$ kontextusban, akkor az $s2$ és $s1$ sorrendben is azonosnak kell lennie.

A kérdéseket a fent látható formátumban egyenes és fordított sorrendben is fel fogom tenni a modelleknek. A továbbiakban erre a formátumra fogok "egyenes" és "fordított" kérdésekkel hivatkozni. A keretrendszerem **minden esetben** így várja, és az egyenes és a fordított sorrendű kérdések száma is **minden esetben** szigorúan megegyezik. Ha mégsem teljesül a fentiek valamelyike az inputra (bemenetre), akkor a felhasználó arról feltétlenül értesítést kap.

1.8. Bináris osztályozás

A WiC feladat egy bináris osztályozási (binary classification) problémaként van megfogalmazva: el kell dönten, hogy egy adott szó két különböző mondatbeli előfordulása ugyanabban az értelemben szerepel-e. A bináris osztályozási feladatok problémakörében is változnak a trendek olyan szempontból, hogy egyre inkább a neurális hálók és nagy nyelvi modellek az elterjedtek bináris osztályozási feladatokra is. A Lesk-algoritmus [13] egy klasszikus szóértelem-felismerő módszer, amely a szótári definíciók és a kontextus összevetésével próbálja meghatározni a szó legmegfelelőbb jelentését. A legjobbak mégis az olyan, kifejezetten emberi szöveg megértésére specializálódott nagy nyelvi modellek, mint például a GPT-4.5 és a Gemini 3 - 2025 végén.

1.9. A WiC adathalmaz eredete

A WiC feladat része a SuperGlue [14] Benchmarknak, amely egy széles körben elfogadott benchmark nyelvi modellek kiértékelésére.

8 feladatból áll:

- BoolQ (Boolean Questions)
- CB (CommitmentBank)
- COPA(Choice of Plausible Alternatives)
- MultiRC (Multi-Sentence Reading Comprehension)
- ReCoRD(Reading Comprehension with Commonsense Reasoning Dataset)
- RTE(Recognizing Textual Entailment)
- **WiC(Word-in-Context)**

- WSC (Winograd Schema Challenge)

Forrás: arXiv [1]

A SuperGLUE a GLUE továbbfejlesztett változata, amelyet 2019-ben azért vezettek be, mert az előző versenykörnyezet, a GLUE feladatai könnyűvé váltak a modern, nagyteljesítményű NLP-modellek számára. [1] Az új benchmark célja az volt, hogy keményebb, nehezebb nyelvi és értelmi kihívásokat állítson. Ez az egyik legszélesebb körben elfogadott benchmark, amelyen számos nyelvi modell teljesítményét vizsgálták. A WiC halmaz fel van osztva tanító, validációs és teszthalmazra, ezért gépi tanításra egyszerűen felhasználható. Ezt segíti elő az is, hogy az összes mondat tokenekre bontott, tabulált és egységesek az írásjelek is. A modelleket hasonlóan tanítják, mint ahogy az iskolában tanulnak a diákok. A benchmarkok feladatait jellemzően 3 részre vágták: tanító, validációs és teszthalmazra. Ennek az aránya eltérő lehet, de a tanítónak jóval nagyobbnak kell lennie, mint a másik kettőnek, és a teszthalmaznak nagyobbnak kell lennie, mint a validációs halmaznak. 80-10-10%-os eloszlás a standard, ezzel, vagy hasonló eredménnyel érhetőek általában el a legjobb eredmények.

A tanító adatbázist a korábbi iskolai példára visszatérve úgy képzelhetjük el, hogy ez a leadott anyag. A validációs halmaz olyan, mint egy mintavezsga, minta ZH. A teszthalmaz pedig a végső megmérettetés, a vizsga. Fontos, hogy a teszthalmazon sose tanítsuk a modelleket, és sose legyen átfedés a halmazok között. Ez ugyanis magoláshoz vezet, és a modell nem lesz képes általánosítani.

Szó	Szófaj	Index	1. Példamondat	2. Példamondat
defeat	N	4-4	It was a narrow defeat.	The army's only defeat.
groom	V	0-1	Groom the dogs.	Sheila groomed the horse.
penetration	N	1-1	The penetration of upper management by women.	Any penetration, however slight, is sufficient to complete the offense.
hit	V	1-3	We hit Detroit at one in the morning but kept driving through the night.	An interesting idea hit her.

1.1. táblázat. A WiC adathalmaz tesztkészletének néhány bejegyzése. Forrás: The Word-in-Context Dataset

[2]

1.9.1. Korábbi eredmények a WiC adathalmazon

A Word-in-Context honlapján található egy eredménytábla, amely bemutatja, hogy egyes modellek és algoritmusok milyen eredményt értek el a WiC feladatra. WiC adathalmazon számos modellt teszteltek, amelyek túlnyomórészt 60% feletti eredménnyel kategorizálták helyesen a mondatokat. A legjobb eredményt a SenseBERT-large rendszerrel

érték el, külső erőforrások használatával. Ez az eredmény megközelíti a kézi, emberi szintű kiértékelést, melynek a felső határa 80% körüli. A kézi kiértékelésnek és a SenseBERT megoldásának egyszerűsített változatát én is elvégeztem. A kézi kiértékelésemmel közel 65, míg egy egyszerű WordNetet [15] használó Python algoritmusommal közel 60%-os pontosságot sikerült elérnem.

Kategória	Implementáció	Pontosság %
Sentence-level contextualised embeddings		
SenseBERT-large [†]	Levine et al (2019)	72.1
KnowBERT-W+W [†]	Peters et al (2019)	70.9
RoBERTa	Liu et al (2019)	69.9
BERT-large	Wang et al (2019)	69.7
Ensemble	Gari Soler et al (2019)	66.7
ELMo-weighted	Ansell et al (2019)	61.2
Word-level contextualised embeddings		
WSDT [†]	Loureiro and Jorge (2019)	67.7
BERT-large	WiC's paper	65.5
Context2vec	WiC's paper	59.3
Elmo	WiC's paper	57.7
Sense representations		
LessLex	Colla et al (2020)	59.2
DeConf	WiC's paper	58.7
S2W2	WiC's paper	58.1
GBT	WiC's paper	53.6
Sentence level baselines		
Sentence Bag-of-words	WiC's paper	58.7
Sentence LSTM	WiC's paper	53.1
Random baseline (véletlenszerű kiértékelés)		
	50.0	

1.2. táblázat. Korábbi eredmények a WiC adathalmazon. *Forrás:* The Word-in-Context Dataset

[2]

2. fejezet

Nagy nyelvi modellek

A nagy nyelvi modell (angolul Large Language Model, LLM) olyan számítási modell, amely képes értelmes szöveg generálására vagy más természetes nyelvi feldolgozási feladatok elvégzésére. Ezek a modellek egy rendkívül költséges folyamat révén, hatalmas mennyiségű szöveges adat feldolgozásával és mélytanulási technikák alkalmazásával sajátítják el a nyelv megértését és előállítását. Az LLM-ek, mint például az OpenAI GPT-sorozata, a Google Gemini vagy a Meta LLaMA modelljei, különböző architektúrákat használnak, de leggyakrabban a transzformer alapú megközelítést alkalmazzák. Mint nyelvi modellek, az LLM-ek úgy sajátítják el ezeket a képességeket, hogy óriási mennyiségű szövegből, egy önfelügyelt és egy félig felügyelt tanulási folyamat során, statisztikai összefüggéseket tanulnak meg. Ezek a modellek képesek összetett feladatok elvégzésére, mint például szövegfordítás, összefoglalás, információ-kinyerés, kérdés-válasz és kreatív szövegalkotás. Alkalmazhatóak finomhangolás által specializált feladatokra. Nagy nyelvi modelleknek jellemzően az 50 milliárd paraméteresnél nagyobb modelleket hívják. Az ennél kisebb modelleket emiatt a továbbiakban következetesen nyelvi modelleknek hívom.

Inputként kap egy promptot, egy legfeljebb n token hosszúságú szöveget, ahol az n függ a modelltől és a paramétereiről. Erre fog legfeljebb m hosszúságú válaszban inferenciával, azaz következetéssel válaszolni. Azért hívják modellnek a modelleket, mert az emberi nyelvet és kommunikációt utánozzák (modellezik).

Forrás: Wikipédia

Nyelvi modell alapfogalmak

Ahhoz, hogy a nyelvi modelleket ki tudjam értékelni, meg kell ismerni néhány alapfogalmat, koncepciót, amely a Hugging Face transformers könyvtár használata során is elengedhetetlen lesz.

2.1. A prompt

A prompt alatt generatív mesterséges intelligenciák esetében egy olyan inputot értünk, amelyre a modell egy kimenetet, "választ" generál, amely lehet determinisztikus (előre meghatározható) és részben véletlenszerű is. A prompt jellemzően szöveges for-

májú **nyelvi modellek esetén**, mint ahogy a válasz is, de egyre elterjedtebbek a hangalapú bemeneti és kimeneti formák is. Egy jelentős előnye a promptolásnak, hogy nem csak egy előre meghatározott parancskészletet használhatunk, hanem bármit beírhatunk, nincsenek szintaktikai hibák vagy futtatási hibák, mivel a rendszer minden bemenetre képes választ generálni.

Forrás: Wikipédia

2.2. Inferencia

Egy modell promptrra adott válaszát inferenciának nevezzük, ami következtetést jelent. Általánosabban az inferencia azt a folyamatot jelenti, amikor a rendszerek a tanult adatok alapján következtéseket vonnak le és képesek új döntéseket hozni. A projektemben a generatív modellek inferenciájának folyamatára az egyszerűség kedvéért általában "a modell futattásaként" fogok hivatkozni.

Ez arra utal, hogy a modell a megtanult minták alapján futásidőben logikailag következtet a legvalószínűbb kimenetre, bonyolult statisztikai számítással, nem pedig csak szó szerint "visszadobva" a betanított adatokat.

Forrás: Wikipédia

2.3. Determinisztikus következtetés, hőmérséklet, top-p és top-k

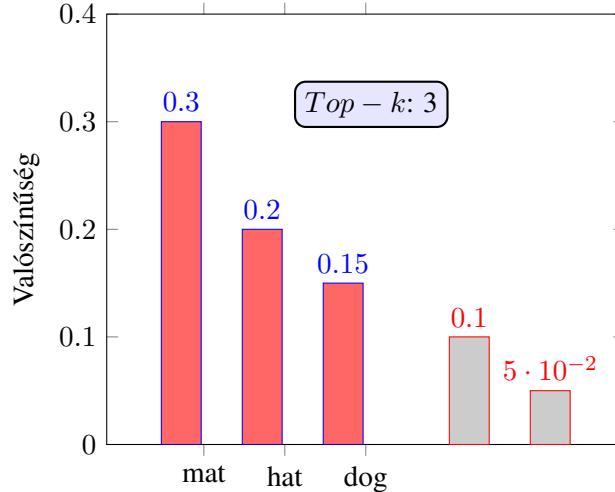
A modellek teljesítményének vizsgálata könnyebb lehet, ha a futtatás determinisztikus. Azt jelenti, hogy a modell mindenkor ugyanazt a kimenetet adja ugyanazon bemenet esetén, mivel a véletlenszerűséget kizáró paraméterekkel (pl. $temperature = 0.0$, $top - k = 0$, $top - p = 1.0$) működik. A hőmérséklet ($temperature$) a nyelvi modellek válaszainak kreativitását szabályozza (magas értéknél változatosabb, alacsonynál determinisztikusabb kimenet), a top-k pedig korlátozza a következő szó választékát a k legvalószínűbb tokenre, míg a top-p (más néven nucleus sampling) dinamikusan választja ki a valószínűségi eloszlás egy részhalmazát (pl. a legvalószínűbb tokeneket, amelyek összege eléri a p küszöböt) [16].

Tegyük fel, hogy a nyelvi modellnek a következő mondatot kell befejeznie:

The cat sat on the _ .

A modell célja, hogy megtalálja a legmegfelelőbb szót a hiányzó helyre. Ehhez különböző mintavételi stratégiákat alkalmazhat, például a top-k vagy top-p eljárást. A top-k módszer során a modell kiszámítja az összes lehetséges folytatás valószínűségét, majd ezek közül kiválasztja a k legvalószínűbbet, a többöt pedig elveti. A kiválasztott k szóból ezt követően véletlenszerűen választ egyet, amelyet a szöveg folytatásához használ. Ez a megközelítés biztosítja, hogy csak a legrélevánsabb szavak kerüljenek figyelembe vételre, ugyanakkor némi változatosságot is megtart a generálásban.

A modell szerint az alábbi 5 szó a legvalószínűbb, csökkenő esélyvel: mat, hat, dog, sofa, floor.



2.1. ábra. A top- $k=3$ értékadás esetén a pirossal kiemelt szavak közül fog diszkrét valószínűségi eljárás szerint választani.

A $\text{top} - p$ működése hasonló. Annyiban tér el, hogy nem egy fix számú legvalószínűbb szót választunk ki, hanem az odaillő szavak valószínűsége szerint. A p egy 0.00-tól 1.00-ig terjedő valós szám. A szavakat akkumulatívan vesszük számításba, amíg a p értéke nagyobb, mint a soron következő legvalószínűbb szó valószínűsége, addig belevesszük a szót és ugrunk előre. Ellenkező esetben csak belevesszük a szót, és leáll az algoritmus. Ezzel a módszerrel minél nagyobb a p érték, annál több szó közül lehet választani, de legalább 1 szót kapunk, tehát mindenkorban tudjuk folytatni a szöveget.

2.4. Maximum kimeneti tokenek és kontextusablak

A **maximum kimeneti tokenek** paraméter határozza meg, hogy a modell legfeljebb hány tokent generálhat a válasz során. Ez kizárolag a válasz hosszát korlátozza, nem befolyásolja közvetlenül a bemeneti szöveget.

A **kontextusablak** (*context window*) a modell által egyszerre figyelembe vehető tokenek teljes száma – beleértve a bemenetet és a választ is. Ha a bemenet vagy a beszélgetés túl hosszú, a legrégebbi részek elvesznek. A GPT-4 (GPT-4-0613) kontextusablaka például 8192 token. [17]

2.5. Logikai szövegkövetkeztetési konzisztencia

A konzisztencia, konzisztens kifejezések sokféleképpen értelmezhetők a nagy nyelvi modellek szaknyelvezetében. Éppen ezért tiszázom, hogy szavakat a továbbiakban kifejezetten a feladatkiírásban és az 1. fejezetben meghatározott logikai és szövegkövetkeztetési értelemben használom, és nem a konzisztencia más típusaira, pl. a faktuális, önfigyelő (self-consistency), időbeli, szövegösszefoglalási, vagy tanácsadási konzisztenciára értve –, mivel ezeket eltérő módszerekkel kellene vizsgálni.

3. fejezet

Google Colab

3.1. Fejlesztés Google Colabban

Az eredeti ötletem az volt, hogy a szoftvert a Google Colab környezetben valósítom meg, amely egy Google által fejlesztett webes Python-alapú futtatókörnyezet. Ötletem megvalósításához a Témavezetőm által készített és javasolt Google Colab jegyzetfüzetet [18] fejlesztettem tovább. Ez egy egyszerű, de hatékony jegyzetfüzet, amellyel egy tetszőleges modell válaszadásra bírható. A környezettel egy darabig, a modell válaszok legeneráltatása erejéig effektíven és eredményesen tudtam a kiértékelő keretrendszer fejleszteni. Az elkészült jegyzetfüzet 6 jelenlegi formájában képes a meghatározott számú, akár minden a 2800 Word-in-Context-alapú kérdésre választ generáltatni a meghatározott modellen, így rendelkezik a keretrendszer középső moduljának 4.1 funkcionalitásával. Használata egyszerű: csak le kell futtatni sorban az összes cellát, mely akár egyetlen kattintással is elvégezhető. A Google Colab egyszerű és kényelmes környezetet biztosít modellek futtatására, akár limitált ingyenes GPU-használattal is. Ám nem voltam elégedett a környezet adta korlátozásokkal, pl. session-alapú futtatókörnyezet, amely a session végével törli az adataimat, lassú csatlakozási idő a távoli hardverekhez, limitált erőforrás-hozzáférés, perzisztens adattárolási lehetőségek hiánya és egyéb korlátozások, amelyek csak előfizetéssel kerülhetők ki. Emiatt PyCharm fejlesztői környezetet használtam a keretrendszer elkészítésére.

3.2. Google Colab futtatás

A középső modul egyszerűsített változata elérhető Google Colab-on, a mellékletben található linken.⁶

Mivel Google Colabot használtam, azon belül is GPU-s futtatókörnyezetet, így a kiértékelés gyorsabb volt. A webes környezetben kikapcsolt valószínűségi változókkal dolgoztam és az inferenciák egyesével egymástól függetlenül történnek, emiatt elmondható, hogy a modell válaszgenerálás módja:

- determinisztikus, tehát ugyanarra az inputra mindenkor ugyanaz lesz az output, nem függ a véletlentől,
- és izolált, azaz a modell egyik futtatásban sem "tud" semmit a korábbi bemeneteiről és válaszairól.

Ennek ellenére a Google Colab környezet nem egy hatékony módja a kiértékelésnek a korábban felsorolt gyengeségei miatt, helyette a lokális PyCharm keretrendszerem biztosít egy kényelmesebb és sokkal átláthatóbb környezetet.

4. fejezet

A szoftver: modellt futtató és kiértékelő keretrendszer fejlesztése PyCharmban

A részletes kimutatásokat tartalmazó megoldás

4.1. Tervezés

A szoftver elődjét, amelyet a szakdolgozatomhoz készítettem, 2024-ben kezdtem el fejleszteni, és azóta folyamatosan, általában heti git 10-20 committal fejlesztettem. A GitHubon elérhető a kitűzött elemek között. A teljes forráskód az összes korábbi verzióval együtt a

<https://github.com/Fabbernat/Thesis> GitHub repozitóriumban található.

A projekt első verziója kritikákat kapott, ugyanis nehezen átlátható és részben AI generált, ponyola minőségű kódra alapszik, így 2025 nyarán újrakezdtem a fejlesztést. Az új szoftvernek 2 fő fejlesztési szempontja volt.

Az egyik, hogy minden részfeladat egy kattintással elvégezhető legyen a Clean Code [19] módszereivel, tehát nagyon egyszerűen futtatható legyen. Ez a 3 részfeladat:

- A WiC adathalmazból (vagy azzal megegyező formátumú adathalmazból) modell prompt elkészítése.
- A modell futtatása az elkészített prompton, válasz generálása.
- A modell kimenetből adatkinyerés, statisztikák készítése.

A másik fejlesztési szempont az volt, hogy a promptok alapjául szolgáló adathalmaz és a modellek nagyon egyszerűen cserélhetők legyenek, anélkül, hogy a program egyéb részein módosítani kellene.

A projekt kutatási szempontból érdekes része így csak az újraírt `src/Framework` modulban található. A többi nagyrészt archívum és mellőzhető a projekt megértéséhez. A `src/Framework` 3 almodult tartalmaz, amelyek mindegyike egy önálló, de nagyon egyszerűen futtatható programot tesz ki. Egyesítve is lehet futtatni, de több indoka is van, hogy miért inkább egyesével érdemes elindítani a programokat. Az első és utolsó modul offline futtatható és nem erőforrásigényes, a hibák esélye minimális. A középső modul a fő ok, amelyben rengeteg a hibaforrás és a nemdeterminizmus. Online API-hívásokat

végez és GPU-t igényel (GPU hiányában pedig hatalmas erőforrásigényt és számítási kapacitást), ráadásul sok harmadik féltől származó függvénykönyvtárra támaszkodik. Emiatt számos hálózati és memóriakezelési hibába futhat, így érdemes külön futtatni ezt a programot, és a hibákat lekezelni. A modulok futtatási sorrendje fontos.

Ezt a szoftvert 2024-ben kezdtem el fejleszteni, de a lényegi részét 2025-ben készítettem, folyamatos fejlesztéssel, hibajavítással, kísérletezéssel.

Az eredeti beadott verzióval több gond is volt. A programot nem lehetett egy belépései ponttal futtatni. Helyette nem forduló, kaotikus, gyakran egymástól teljesen független szkriptek szerepeltek rendezetlenül, amelyeknek a használatát csak én ismertem, ráadásul egy részük nem is műköött, csak úgy "volt". A program egyébként is csak a modell inputjainak előkészítését tudta, a modell inferenciát és a válasz feldolgozást már manuálisan kellett elvégezni. Csak a mostani `ModelInputPreparer`nek megegyező rész funkcionálitásával rendelkezett standard Python környezetben. A Hugging Face modell inferenciájára (a mostani `HuggingFaceModelInferencer` 4.1 modullal meggyező funkcionálitás) egy Jupyter Notebookban került sor, Google Colab környezetben. A modell outputjának (kimenetének) feldolgozása (a mostani `ModelOutputProcessor`) pedig megint egy harmadik környezetben, Google Apps Scriptben került feldolgozásra.

Az újraírásnál első lépésem volt, hogy a platformot egyesítettem. Most az egész szoftver egy sima, standard Python futtatókörnyezetben fut, egyetlen könnyen megtalálható `main` fájl futtatásával, ipari standard szerint az `src` mappában lévő globális belépései ponttal, de egyenként is lehet futtathatni a 3 modult, mindegyikhez tartozván egy `main.py` fájlban található belépései pont. PyCharm környezet ajánlott a szoftver futtatásához. A legnagyobb ihletet a szoftver megújításához a Clean Code [19] című könyv elolvasása hozta, amely hatására átértékeltem a programozói tudásomat és a szakdolgozatot. Láttam, hogy modulárisan, objektumorientált módszerrel és az egymásra halmozódó függőségek minimalizálásával nagy szoftvereket is átláthatóan és biztonságosan lehet fejleszteni. Megjegyeztem azt is, hogy a jó elnevezések milyen fontosak. Ezek az elvek alapján írtam meg teljesen üres vázlatból az új szakdolgozat szoftveremet. A szoftver egy keretrendszer, hiszen keretrendszerből biztosít Hugging Face modellek lokális futtatására és azok válaszainak kiértékelésére, továbbá nincsen hozzá webes, mobilos, vagy desktop grafikus felület és nincsen hostolva sem. Helyette parancssorból indítható a program és a `config` fájlok beállításainak módosításával paraméterezhető. Én általában csak "modulokként" hivatkozom a keretrendszerre, hiszen három, egymástól jól elkülönülő feladatú és funkciójú modulból áll. Így az egyes modulok egyedülállóan is futtathatók, akkor is, ha a másik kettő nem létezik, vagy meghibásodik. Mindegyik modul egy fő futtatható állományt tartalmaz, egy-egy `main.py` fájt egy-egy `main` belépései ponttal.

Felhívom a figyelmet arra, hogy mivel a szoftvert időnként módosul, így a legújabb GitHub verzió konfigurációi, paraméterei, működése stb. részben eltérhetnek a leírttól. A leírás a 2025 év végi verzióra vonatkozik és a későbbi verziókban kisebb eltérések előfordulhatnak. A legtöbb eltérés korábbi verziók visszaállításával, vagy a `config` és az `input` fájlok módosításával kiküszöbölni.

ModelInputPreparer

A `ModelInputPreparer` modul inputjai egy lokális adathalmaz és az elkészíteni kívánt kérdések száma. A program feladata a WiC adatokból a megadott számú az

egyenes és fordított kérdés legyártása, amelyet majd a nyelvi modell inputként meg fog kapni. Ez a program alapértelmezetten Word-in-Context adathalmaz test splitjének rekordjaiból hozza létre a kérdéseket, de saját, megegyező formátumú kérdésekre is működik. A ModelInputPreparer alapértelmezetten randomizálja az elkészített kérdések sorrendjét a tiszta kiértékelés érdekében. A kérdéseket mind egyenes, mind fordított sorrendben létrehozza, amelyekkel azután a modellek konzisztenciáját vizsgáljuk. Mivel az adathalmaz alapértelmezetten 1400 rekordból áll, és rekordonként 2 kérdésünk (egyenes, fordított) van, így alap beállításokkal 2800 kérdést kapunk, de ezen igény szerint lehet módosítani.

HuggingFaceModelInferencer

A HuggingFaceModelInferencer inputként a ModelInputPreparer outputját kapja. Itt hajtódik végre a távoli Hugging Face modell(ek) letöltése, telepítése és futtatása. Feladata a modell futtatása az elkészített prompton, válasz generálása. A generálási stratétiám lényege, hogy minden inferencia során 1 kérdést válaszoltatok meg, egymástól függetlenül, így elkerülve a modellek "emlékezőképességét", továbbá csak 1 output tokent engedélyezek, biztosítva, hogy a válasz csak egy "igen" vagy "nem" lesz.

ModelOutputProcessor

A ModelOutputProcessor feladata a modell outputból adatkinyerés, majd azt a gold standarddal összevetve statisztikák készítése.

4.2. Fejlesztés

4.2.1. Globális scope

`GlobalMain.py`: ebben a szkriptben található a fő belépési pont, amely egyszerre minden a három modult lefuttatja.

`GlobalData` mappa: Ez a `GlobalMain` futtatásakor használt "adatbázis", adattároló mappa. A modulok egyesével való futtatásakor nem ezt használják, hanem az adott modul gyökerében található `data` mappát. Mindegyik modulhoz tartozik ebből egy-egy külön.

`Data` mappák: az egyes modulokhoz tartozó input és output fájlok tárolását szolgálják.

*.`in` fájlok: az input fájlok egységes kiterjesztése. Ha *.`in` a kiterjesztése, akkor valamelyik fájl azt bemenetként használni fogja.

.`out` fájlok: az output fájlok egységes kiterjesztése. Általában "append", azaz hozzáfűző módban írat a program beléjük, hogy így meg legyenek őrizve a korábbi futtatások eredményei is.

4.2.2. A modulok szerkezete

Közös elemek

Mindhárom modul gyökérkönyvtárában megtalálható az alábbi három Python fájl.

A config.py nevű fájlok a konfigurációs szkriptek, melyek célja, hogy futtatás előtt módosítani lehessen az előre beállított, nagybetűsített globális változókban tárolt beállításokat, mint például a feldolgozandó adat mennyiséget, az input fájlok adatait, vagy a prompt üzenetet.

A main.py a fő belépési pont, itt lehet elindítani a main függvényt, amely csak elindítja programot, átadva a futást a run.py szkriptnek.

A run.py pedig lefuttatja a program maradék részét, az összes modul-, függvény-, osztályhívást, tehát a program vezérlését végezve, azt általában további szkriptekre átruházva.

A HuggingFaceModelInferencer modulban található egy modelName.py fájl is, amely egy változóban eltárolja a kiválasztott modell nevét, ezzel biztosítva, hogy bár melyik másik modulba be lehessen importálni a kiválasztott modell nevét, anélkül, hogy egyéb függőséget behúznánk.

Mindhárom modul futásidje mérve van, a time Python modul perf_counter algoritmusával mérve. A futásidő konzolos logként tekinthető meg.

4.2.3. ModelInputPreparer

Ahhoz, hogy a modellek szemantikus képességeinek konzisztenciáját megvizsgálhassuk, először el kell érni, hogy a modell sikeresen és értelmesen választ adjon. Ahhoz pedig, hogy választ adjon, szükséges a kérdések legyártása, ugyanis a Word-in-Context adathalmaz formátuma nyers szövegként nem alkalmas generatív nyelvi modellek promptolására. Így a statisztikai elemző modul létrehozása előtt szükség volt ennek a két funkcionálisnak a létrehozására.

Az első modul a ModelInputPreparer (modell bemenet előkészítő), amely a WiC adathalmazból létrehozza a modellnek szánt inputot, a legfeljebb 2800 kérdést, igény szerint akár véletlenszerű sorrendben is. Ez a WiC adathalmaz test splitjének összes rekordjából létre képes hozni egy-egy kérdést, mind egyenes, mind fordított sorrendben, hogy a modellek konzisztenciáját vizsgáljuk. Mivel 1400 rekordból áll, és rekordonként 2 kérdésünk (egyenes, fordított) van, így jön ki a 2800 kérdés. A létrehozás módja a következő: A WiC adathalmaz minden sora 5, tabulátorral elválasztott értéket tartalmaz:

- szó,
- szófaj,
- a szó pozíciói a mondatokban,
- az első mondat,
- a második mondat.

Ebből nekünk csak a szó, első mondat és a második mondat szükséges, a többivel nem is fogunk foglalkozni.

A kérdések létrehozásának folyamata

LabelAdder: A WiC beolvasása és a random minták kisorsolása.

A WiC adathalmazt beolvassuk a *Label Adder* szkriptben, amely beolvassa a fájlt nyers szövegként, a sorokat tabulátor mentén felbontja, majd eltárolja egy listában. Ezután meghívja a *randomsamples.py* szkriptet, amely generál n darab - a *config.py*-ban meghatározott mennyiségű indexet. Ezek az indexek lesznek a kérdés-válasz párok azonosítói, én GUID-nak neveztem el őket, amely a "globálisan egyedi azonosító" (globally unique identifier) rövidítése. Ezután megnyitjuk a fájlt, majd beolvassuk és minden egyes GUID-adik indexű sorból eltároljuk a szót és a két mondatot egy listában. A GUID értéke mindig 0 és 1399 között van, tehát az értéke pont megegyezik a teszthalmaz hosszával, így nem történhet túlindexelés.

WordAndSentencesExtractor

Ezután a listát átadjuk a *WordAndSentencesExtractor* szkriptnek, amely ki nyeri belőlük a szót, az első mondatot és a második mondatot. Mivel nekünk csak a szó, első mondat és a második mondat szükséges, ezeket a nyers szövegből listákba helyezzi át, a többi adatot eldobja a *WordAndSentencesExtractor*.

SentenceBuilder: A mintaillesztés

Az alapötlet a WiC-minták kérdéssé konvertálása mögött, hogy a mintákból már kinyert szó, első mondat és a második mondat sztringeket mintaillesztéssel két előre meghatározott sablonba szúrjuk, amelyeknek egyike az egyenes, másik a fordított kérdést gyártja le.

```
def buildStraightSentence(self, word: str, sentence_a: str, sentence_b: str) -> str:  
    return f'Does the word "{word}" mean the same thing in sentences "{sentence_a}" and "{sentence_b}"?'  
  
def buildReversedSentence(self, word: str, sentence_a: str, sentence_b: str) -> str:  
    return f'Does the word "{word}" mean the same thing in sentences "{sentence_b}" and "{sentence_a}"?'
```

4.1. ábra. Jól látható, hogy a WiC-mintákat előre meghatározott mintákba szúrjuk be

Ezután kétszer végigmegyünk a listán. Először elkészítjük az egyenes kérdéseket, másodjára pedig a fordítottakat. A kérdéseket úgy készítjük el, hogy az angol nyelvű kérdést tartalmazó, úgynevezett Python f-sztringekbe (formázott sztringekbe) helyezzük a szót és a 2 mondatot, lásd SentenceBuilder.

SentenceNormalizer: A nyelvtani előfeldolgozás

Ugyan csak kényelmi doleg, de a mondatok az adathalmazban tokenizálva vannak, emiatt minden írásjel szóközzel van elválasztva az előtte szereplő tokentől - vagyis pontosabban tabulátorral, de a programomban szóközt használók az egyes részek szeparálására. A lényeg, hogy az AI modellek hatékonyabb prompotolása miatt, és hogy számomra, ember számára is érhetőbb legyen, visszaalakítottam standard, nyelvtanilag helyes angol mondatokká. Ehhez csak egyszerűen minden írásjel és az aposztrófok elől el kellett tüntetnem a szóköz(öke)t, amelyhez egy egyszerű sztringcsere műveleteket biztosító algoritmust írtam, lásd SentenceNormalizer. Ezáltal sokkal olvashatóbbá váltak a mondatok.

Végül a futás eredményét elmentjük egy fájlba, ahonnan majd a következő modul azt elérheti.

A modul hívási verme a következő:

```
main ->
    run ->
        LabelAdder
        WordAndSentencesExtractor
        SentenceBuilder
        SentenceNormalizer
```

A négy egymás alatt található szkript egymás után hívódnak meg és mind a run szkriptnek adják vissza az irányítást a befejeztük után.

4.2.4. HuggingFaceModelInferencer

A második modul a HuggingFaceModelInferencer (modell inferencia végrehajtó). Ebben a modulban történik a konkrét modell lefuttatása az előző modulban előállított kérdéseken.

Az előző modulban láthattuk, hogy a kérdések legyártása viszonylag egyszerű fájl- és sztringfeldolgozó algoritmusokkal lehetséges. A modell futtatása a nagymérteű promptom és annak speciális felépítése miatt viszont nem egy triviális feladat. Még kisebb méretű Hugging Face modellek futtatása is rendkívül körülményes. Ez egy internetelérést és rendkívül sok időt és erőforrást (CPU, GPU, RAM) igénylő művelet. Így nem meglepő, hogy ennek a modulnak az elkészítése vette igénybe az idő túlnyomó részét a szoftver elkészítésében.

A program elindítása előtt érdemes a config.py és a modelName.py beállításait ellenőrizni és igény szerint módosítani. A modell tetszőleges lehet, de ajánlott a modelName.py fájlból található supported_models lista a keretrendszerrel már tesztelt modellekkel tartalmazza, ezért célszerű ezek közül választani. A config.py listában lévő modellek közül, annak is az első indexein elhelyezkedő modellek közül választani, mert ezek kompatibilisebbek a keretrendszerrel. A config fájlból lehetőség van a promptnak az utasítás részén változtatni, amely aztán a kérdések elő kerül a prompt-felépítés során. Ebben lehet adni, hogy hány kérdésre válaszoljon, milyen kulcsszavakkal, terjedelemben, stb. A konzolra történő kiíratások mennyiségét is itt lehet állítani.

A futás első lépéseként a program ellenőrzi, hogy az input kérdéssor helyes-e. Ha a bemenet páratlan számú sorból áll, akkor hibás, hiszen nem egyezik meg az egyenes

és fordított kérdések száma. Ilyenkor a felhasználó figyelmeztetést kap, és dönthet, hogy kilép, vagy továbblén, és a program megpróbálja helyreállítani 1 sor kitörlésével a bemenetet.

Ezután a program azt is leellenőrzi, hogy tényleg a kérdések fele-e fordított, a most már biztosan páros hosszúságú kérdéshalmazból. Ezt úgy teszi, hogy n kérdés esetén összehasonlítja az 1. és az $n/2+1$. kérdésben szereplő 1. és 2. mondatot, hogy azok tényleg egymás fordítottjai-e. Hogyha nem, akkor figyelmezteti a felhasználót, hogy hibát talált a kérdéssorban. A felhasználó itt szintén választhat, hogy kilép a programból, vagy továbblén potenciálisan hibás input kérdésekkel.

Ezt követően történik a 3. féltől származó könyvtárak betöltése. A szükséges fő csomagok a `torch`, `transformers`, `accelerate` és `huggingface_hub`, de bonyolultabb modellek további függőségeket is igényelnek. Ha valamelyik hiányzik, a Python futásidőben hibát jelez.

Ezután következik a modell-specifikus rész, hiszen a különböző modelleknek eltérő az inferencia-végrehajtó logikája. Az inferencia történhet determinisztusan és nem-determinisztusan, ezt is a config fájlban lehet állítani. Az alap logika viszont minden modell esetén ugyanaz, főleg mivel a generálási stratégiám részeként minden inferencia eredménye pontosan 1 darab token. A `torch` csomag `no_grad()` kontextuskezelőjével kikapcsoljuk a gradiensek számítását a modell összes műveletére, mivel inferencia során erre nincs szükség. A program további része ebben a kontextusban fut.

Ezután történik a `transformers` csomag komponenseinek betöltése. Első lépésként a tokenizer létrehozása történik a `AutoTokenizer from_pretrained()` metódusával. A tokenizer `apply_chat_template()` metódusa a promptot a kiválasztott modell által elvárt formátumra alakítja. A modell betöltése az `AutoModelForCausalLM from_pretrained()` metódusával történik, amely — amennyiben elérhető — `safetensors` formátumú súlyokat tölt le.

A modell és a tokenizált bemenet áthelyezése a megfelelő eszközre a `model.to(device)` és `inputs.to(device)` hívásokkal történik. A válasz generálása a `generate()` metódussal történik, amely jelen konfigurációban pontosan egy új tokent állít elő

`max_new_tokens = 1`. A kapott tokenhalmazt a `tokenizer.decode()` segítségével alakítom vissza szöveggé.

A futás végén megtörténik a modell válaszainak fájlba írása, továbbá a futás során keletkezett meta-információk is külön fájlokba kerülnek.

A modul hívási verme a következő:

```
main ->
    run ->
        TorchApiHandler ->
            TransformersApiHandler ->
                Builder
```

Mindegyik szkript rekurzívan meghívja a nyíllal tőle jobbra jelzett szkriptet, majd azok mindegyikének befejezte után veszi vissza az irányítást.

Ha sikeresen lefutott a válaszgenerálás, akkor a kérdések hosszával megegyező számon választ kaptunk. Ellenkező esetben sajnos meg kell ismételni a generálást, hiszen nem

triviális, hogy melyik válasz melyik kérdéshez tartozott - kivéve ha kérdés-válasz párok-ként mentettük el az eredményt. Azonban az eredményként kapott modell válaszok még helyes válaszgenerálás esetén is csak egy halom "Yes" és "No", mindegyik új sorban, amelyből önmagában nehéz statisztikai következtetéseket levonni. Éppen ezért van szükség a ModelOutputProcessor modulra, amely érthetővé teszi az eredményeket.

4.2.5. ModelOutputProcessor

A harmadik modul a ModelOutputProcessor (modell kimenet feldolgozó).

A ModelOutputProcessor bemenete a HuggingFaceModelInferencerben futtatott modell válaszai. Természetesen itt is van validálás a program bemenetére. Ha a modell jól válaszolt, akkor n darab kérdés esetén a válaszok száma is n kell, hogy legyen. Továbbá a válaszoknak az első fele az egyenes, második fele a fordított kérdésekre adott válaszokat kell, hogy tartalmazza. Emiatt ebben a modulban is elvárás, hogy az input fájl páros sorból álljon. Ha mégsem, akkor a felhasználó az előző modulokhoz hasonlóan választhat, hogy kilép a programból, vagy továbblép potenciálisan hibás input kérdésekkel. Ha a felhasználó megerősíti, hogy tovább kíván lépni, a program megpróbálja helyreállítani az emiatt keletkező anomáliákat egy, vagy több sor törlésével.

A modul hívási verme a következő:

```
main ->
    run ->
        TernaryClassifier ->
            AnswerAwareClassificationRule
            VAGY
            SentenceClassifier
        TernaryResultsProcessor
```

Tehát a main szkript meghívja a run szkriptet, amely továbbadja az irányítást a TernaryClassifier szkriptnek. A szkript három kategóriába sorolja a válaszokat: "igen", "nem" és "talán" osztályokba. Az osztályozás során végigmegy az előző modulból inputként kapott modell válaszokon és soronként eldönti, hogy a "Yes", a "No", vagy a "?" (nem egyértelmű) kategóriába sorolható-e be a válasz. minden sor pontosan egy kategóriába soroltatik be. Az eldöntési algoritmusnak több módszere is van, ezért választható itt az AnswerAwareClassificationRule és a SentenceClassifier, amelyet a config fájlban található ADAPTIVE_RUN változóval lehet beállítani. Ezután a kategóriákat a TernaryResultsProcessor összeveti a gold standardban szereplő értékekkel, majd az összevetés eredményei alapján készülnek el a run szkriptben a végeredmények.

A modul, és így az egész program végeredményeként az alábbi statisztikákat számolom ki. Bemutatom a számolási módszer képletét és helyességét is.

Informatikusként természetesen szeretnénk az eredményeket számszerűsíteni. Különösen igaz ez a ModelOutputProcessor, esetén, hiszen az eredmények könnyen számszerűsíthetők. Ez talán a legkönyedebb módja a különböző futtatások összehasonlításának és ez teszi lehetővé a következtetések levonását. Ehhez viszont tisztáznunk kell a pontosságfogalmakat. Éppen ezért minden végeredményt egy 0 és 100% közé normalizált számként fejez ki a programom. Az eredményként az alábbi statisztikai indikátor mérőszámokat számítja ki a modul:

- Konzisztens válaszpárok aránya
- Pontos válaszok aránya
- Pontos válaszpárok aránya
- Konzisztensen pontos válaszpárok aránya
- Bizonytalan válaszpárok aránya
- Konzisztensen bizonytalan válaszpárok aránya

Konzisztens párok aránya

Mivel a konzisztencia csak páronként értelmezhető, így a végeredménybe minden találat **1** értékkel kerül beszámításra.

A program első lépésként végigmegy a válaszok sorain. Megnézi, hogy a modell mit válaszolt soronként. Ezt 3 kategóriába sorolja: Yes, No és ?, azaz nem egyértelmű, "talán". Ez utóbbi minden olyan válasz, amelynek nem egyértelműen "igen", vagy "nem" a jelentése. Ha ez megvan, akkor összehasonlítja az egyenes és fordított kérdéseket páronként. Ez n kérdés esetén $n/2$ összehasonlítást jelent. Az egyezések aránya adja meg a konzisztencia mértékét, amelyet százalékban fejezék ki. Ha pl. 100 kérdéspárra 50% eredményt kapunk, akkor 50 kérdéspár megegyezik, 50 pár pedig nem.

Pontos válaszok aránya

Megdaja a gold standarddal egyező válaszok számát. Mivel a többi metrika páronként, emez pedig egyenként értelmezendő, így nem összehethető a többi metrikával.

Önmagában az, hogy a válaszok konzisztensek, nem elég, hiszen lehet konzisztensen hibás az összes válasz is, amely nem egy kívánatos eredmény. Emiatt azt is meg kell vizsgálni, hogy a válasz megegyezik-e a gold standardbeli válasszal, függetlenül attól, hogy az egyenes vagy fordított. Ezért egy százalékban kifejezett mérőszámban eltároltam az egész adathalmazra levetített pontosság mértékét is. Pl. 50% esetén a válaszok 50%-a egyezik meg a gold standardbeli válasszal.

Pontos válaszpárok aránya

Minden pontos válaszpár **1** értékkel kerül beszámításra.

Pontos válaszpárok alatt azt értjük, hogy egy egyenes-fordított kérdéspár legalább egyike megegyezik a gold standarddal. Magyarán abban az esetben tekintünk jónak egy teszteset párost, ha az arra kapott válasz nem konzisztensen rossz (tehát legalább az egyik sorrendben helyes a megoldás).

Konzisztensen pontos párok aránya

Mivel a konzisztensen pontosság csak páronként értelmezhető, így a végeredménybe minden találat **1** értékkel kerül beszámításra.

A konzisztensen pontos válaszok egyszerűen azok, amelyek konzisztensek és pontosak is. Magyarul azon túl, hogy az egyenes és a fordított kérdésre adott válasz kategóriája ("igen" vagy "nem" vagy "talán") megegyezik, minden a gold standard válasszal is összhangban van. Tehát a három válasz megegyezik. Emiatt ha a válasz nem "igen" vagy "nem", az automatikusan nem konzisztensen pontos.

Bizonytalan párok aránya

Mivel a bizonytalan páronként csak páronként értelmezhető, így a végeredménybe minden találat **1** értékkel kerül beszámításra.

Ha egy egyenes-fordított kérdéspár **legalább egyikére** a válasz se nem "igen", se nem "nem", akkor azt a sort "bizonytalannak" számítom.

Konzisztensen bizonytalan párok aránya

Mivel a konzisztensen bizonytalan páronként csak páronként értelmezhető, így a végeredménybe minden találat **1** értékkel kerül beszámításra.

Ha egy egyenes-fordított kérdéspár **mindkét kérdésére** a válasz se nem "igen", se nem "nem", akkor azt a sort "konzisztensen bizonytalannak" számítom.

LogFile

A ModelOutputProcessorban található naplófájl, a logFile.txt tárolja a legutóbbi futtatások eredményeit. A fájlhoz append módban minden futtatás után hozzáíródnak a legutóbbi futtatás riportjai. A megjelenített információk többek között a választott modell, a jelenlegi felhasználó neve, a futtatás dátuma, és a modell válaszok kiértékelésének eredményei: a konzisztencia, pontosság, és a konzisztens pontosság .

Indexer

Ha megkaptuk az 5 értéket (Konzisztens, Pontos, Konzisztensen pontos, Bizonytalan, Konzisztensen bizonytalan) a megfelelő tartományban, akkor már nincs más dolgunk, mint összeindexelni a kérdés-válasz párokat a Word-in-Context adathalmaz megegyező indexű mintapéldájával és az ahoz tartozó gold standard helyes válasszal (minden egyik index meg kell hogy egyezzen). Ehhez nem árt ellenőrizni az alábbiakat: Az adathalmaz sor-kérdés-egyenes válasz-fordított válasz-gold standard sor GUID-jai **pontosan megegyeznek-e**. A GUID az eredeti, WiC adathalmazban elfoglalt sorszám, amelyre indexként tekintünk a beolvasás után. A GUID az indices.out fájlban található. Ilyen nagy mennyiséggű adat esetén komoly problémát jelent a manuális indexelés, kiváltképpen minden a kérdések sorrendje eleve véletlenszerű. Ráadásul indexer nélkül körülményes a ModelOutputProcessor eredményinek validálása. Éppen ezért a ModelOutputProcessor modulban létrehoztam egy indexer függvényt, amely az az egyenes kérdést, a fordított kérdést, az egyenes kérdésre adott választ, a fordított kérdésre adott választ, a gold standard választ, valamint a ModelInputPreparerben létrehozott kérdés GUID-jait indexeli, kapcsolja össze. Így visszakereshetővé vált, hogy melyik választ melyik kérdésre adta a modell, és hogy az megegyezik-e a gold standarddal.

4.3. Tesztelés

4.3.1. A programok futtatása

A PyCharm fejlesztői környezet kínál egyszerű és felhasználóbarát futtatási módokat - a zöld háromszög ikonokat kell keresni, azzal lehet tetszőleges .py kiterjesztésű fájlt futtatni. Ez a projektem esetén is működik. A keretrendszer main.py fájlokat kell elindítani a modulok lefuttatásához. Mivel azonban a projektem kódja sok fájlból, különös csomagokból és összetett projektszerkezetből áll, és a zöld gomb nem biztos, hogy megfelelő útvonalakon keresi majd a modulokat, a legbiztonságosabb és legprofesszionálisabb mód a terminálos futtatás. Én, mivel Windows-on fejlesztettem, a PowerShell terminált használtam fejlesztéshez és futtatáshoz és ezt ajánlom, de a Command Prompt Shell is teljesen megfelelő.

Futtatás 3 lépében:

Elsőként klónozzuk a projekt forráskódját a gépünkre, pl. a ~\PycharmProjects\ elérési útra. Ajánlott a projekt nevét "Thesis" néven hagyni. Következő lépésként lépjünk a projekt gyökérmapjába. Adjuk ki a

```
> & .\venv\Scripts\Activate.ps1
```

parancsot a virtuális környezet aktiválásához. Majd adjuk ki a

```
> pip install torch transformers accelerate huggingface_hub
```

parancsot a szükséges csomagok telepítéséhez. Ha nagyobb modelleket is szeretnénk futtatni, akkor más csomagokra is szükség lehet. Ez esetben a

```
> pip install torch transformers accelerate huggingface_hub  
    hf_xetm optimum
```

az ajánlott parancs.

Itt kétféle opción van. Egyszerű mindhárom modellt lefuttató futtatásért adjuk ki a gyökérkönyvtárban - ahol a /.git/ és az /src/ mappa van - a

```
> py-m src.Framework.globalMain
```

parancsot. Vagy ha csak egy modult szeretnénk futtatni, akkor szintén a gyökérkönyvtár-ból adjuk ki a

```
> py-m src.Framework.<modul_neve>.main
```

parancsot. A modul neve helyére a ModelInputPreparer, HuggingFaceModelInferencer, vagy ModelOutputProcessor kerülhet, tehát a tényleges parancsok:

```
> py-m src.Framework.ModelInputPreparer.main
```

```
> py-m src.Framework.HuggingFaceModelInferencer.main
```

```
> py-m src.Framework.ModelOutputProcessor.main
```

Ezzel a fenti módszerrel garantáltan megtalálja a Python a szkriptekben megadott modulokat.

Paramétert nem vár egyik modul sem. A paraméterezés helyette a config és a .in kiterjesztésű fájlokban történik.

Hogyha több Python verziót is használunk, akkor annak is jelentősége lehet, hogy milyen verziójú interpreterrel futtatjuk. Tehát lehet, hogy például 3.12-es verzióval nem fut le, de 3.13-ossal már igen. Ez esetben ezt is expliciten meg kell adni futtatáskor egy kapcsolóval, az alábbi módon:

```
> py -3.13 -m src . Framework . globalMain  
> py -3.13 -m src . Framework . ModelInputPreparer . main  
> py -3.13 -m  
    src . Framework . HuggingFaceModelInferencer . main  
> py -3.13 -m src . Framework . ModelOutputProcessor . main
```

Windowson szükség lehet a következő parancs kiadására ahhoz, hogy az operációs rendszer engedélyezze a Python szkriptek futtatását:

```
> Set-ExecutionPolicy -Scope Process -ExecutionPolicy  
    Bypass
```

4.4. Egyebek

4.4.1. Elnevezési stílus

Igyekeztem a Clean Code [19] elveit követve a változók, függvények, osztályok és metódusok szerepét sokatmondó, egyértelmű, könnyen kereshető és refaktorálható, leíró nevekkel ellátni. A fájlok és osztályok neveit egységesen *PascalCase* stílusban adtam meg, minden egyéb változót pedig *camelCase* stílusban.

4.4.2. Hibakezelés

A programban a hibák megtalálását és lekezelését egyszerű try-catch blokkokkal¹ érem el. Egyes hibák az eltérő verzióból és környezetekből adódhathnak, pl. a Python interpreter eltérő mappát tekint gyökérkönyvtárnak. Ezt is try-catch-csel oldottam meg, amellyel minden importot használó szkriptbe kétféle módon is megróbálom beimportálni a függősségeket.

4.4.3. Dupla importok

A moduljaimban szinte minden fájlban észrevehető, hogy az importok egy try-catch blokkban vannak megadva. Ez duplikált importálásnak tűnhet, ám nem az, hiszen a verzérlési szerkezet biztosítja, hogy ha az első elérési út megtalálása meghiúsul, akkor a másik útvonalról töltődjenek be a szükséges modulok. Erre azért volt szükség, mert mindenkorban el szerettem volna érni, hogy a projekt gyökérkönyvtárából és modul-szinten is futtathatóak legyenek a programok.

¹Pythonban a try-except a hibakezelő kulcsszavak elnevezése, de a funkciójuk ugyanaz, mint a többi nyelvben ismert try-catch blokoknak

4.4.4. Kommentek

A kommentek terén törekedtem, hogy minden angolul legyen, ám ezt egy idő után feladtam, és az újabb részek commentjeit magyarul írtam. Mivel a céljaim a helyes funkcionalitás és a karbantarthatóság voltak, ezért bevallom, elég sok kikommentezett kódrészlet és számos nyúlfarknyi megjegyzés található, ám ezek az átláthatósághoz és a jövőbeli fejlesztésekhez szükségesek.

4.4.5. Platformfüggetlenség

Mivel a Python virtuális környezetét használtam a programom fejlesztésére és a program nem használ abszolút útvonalakat, csak relatívakat, így a szoftverem platformfüggetlennek mondható. A szoftvert 3, eltérő architektúrájú és operációs rendszerű gépen is teszteltem. Teszteltem Asus laptopon és különböző toronygépházas gépeken, Windows 10-en, 11-en és Linux Debianon is működött a konzolos futtatás.

4.4.6. Skálázhatóság, bővíthetőség

A szoftverem könnyen tovább bővíthető, hogy több és újabb modelleket is képes leghyen támogatni, és terhelhető tetszőlegesen nagy mennyiségű bemenettel, anélkül, hogy lényegesebb futásidő-növekedést tapasztalnánk, vagy jelentősebben újra kellene írni a logikáját. Az inputok beolvasása, modell választás és az outputok feldolgozása során is törekedtem arra, hogy ezek nagy mérete ne jelentsen problémát, és a validálás, hibakezelés jól működjön nagy méretű, vagy érvénytelen input esetén is. Ezt elsősorban a moduláris, és függvényekbe, osztályokba és metódusokba általánosított, absztrakt felépítésnek köszönheti a szoftver. Az egyes részek csak minimálisan függnek egymástól.

4.5. Jövőbeli tervezettségek

Hosszútávú céлом egyszer közzétenni a keretrendszer. Ehhez azonban még sok fejlesztési "mérföldkövet" kellene elérnem. Egy letisztult webes, vagy konzolos CLI felület sokat segítene, hogy a projekt szélesebb körben, több ember számára elérhető lehessen. A Hugging Face Hub [3] alkalmas platform lehet erre. Továbbá egy adatbázis a jelenlegi nyers szöveg-alapú indexelés és adatkezelés helyett nagy előrelépés lenne.

5. fejezet

Kísérlet

Három konkrét modell kiértékelése véletlenszerű mintahalmazon a keretrendszerben

A végső cél, amiért az egész szoftver keretrendszer készült, az volt, hogy legalább két modellt összehasonlíthassunk minél nagyobb mennyiségű kérdésen.

5.1. Módszertan

Ahhoz, hogy módszertanilag helyes legyen és látszódjon, hogy az eredmények nincsenek beégetve a keretrendszerbe, a Témavezetőmmel megegyezve a példákat random index választó függvény segítségével véletlenszerűen választottam ki a WiC-adathalmaz bejegyzéseiből, szigorúan figyelve az ismétlődő indexek elkerülésére. Az kérdések sorrendje az indexek alapján készült egyedi GUID-khoz vannak kötve, így a kérdések között sincs ismétlődés. Mindegyik egyedi, és minden modell ugyanazt a kérdéskészletet kapja meg feladatként. Az így előállított kérdések mennyisége maximálisan 2800 darab lehet, mivel a WiC-adathalmazban ennyi bejegyzés található. Összefoglalva:

- A kérdések száma tetszőleges, maximum 2800
- A kérdések sorrendje véletlenszerű
- Nincs ismétlődés az elemek között
- minden modell ugyanazt a kérdéskészletet kapja meg
- A modell nincsen tájékoztatva arról, hogy milyen arányban várhatóak igen és nem válaszok, sem egyéb részletekről a feladatot illetően
- minden modell temperature, top-p és top-k értéke az alapértelmezett
- Az utasítás minden kérdés esetén a következő: Answer the question with just a single 'Yes' or 'No'. ("Válaszolj a kérdésre csak egyetlen "Igen" vagy "Nem" szóval.").

5.2. Nehézségek

Akkor beszélhetünk egyáltalán konzisztenciáról, azt tekinthetjük a konzisztens viselkedés első szintjének, ha a modell *reagál a bemenetre*, azaz a válaszának egyáltalán valami köze van a feltett kérdésekhez. A legnagyobb nehézséget a dolgozatomban egyértelműen a nem megfelelő formátumú és/vagy mennyiséggű kimenet jelentette a modell válaszadás során, amely miatt gyakran az egészet meg kellett ismételni. Ugyanis ha nincs reláció a modell válasza és az egyes kérdések között, nem lehet egyértelműen megfeleltetni a válaszokat a kérdésekhez, így a kiértékelés sem lehetséges. Ekkor az összes mérőszám 0.

A vizsgált nyelvi modellek jelentős része nem képes stabil és konzisztens döntést hozni a WiC-feladat esetén. Ha a maximum output tokenek mennyisége nincs lekorlátozva 1-re, gyakran irreleváns generatív válaszokba esnek (pl. “Hello, how can I help you today?”), vagy repetitív tokenflooding jelenséget mutatnak, egy nagy valószínűségű tokenre “ragadva rá”, majd azt ismétli determinisztikusan, magas temperature nélkül (“Yes Yes Yes...” vagy “No No No...”). Ez a *mode collapse* egy tipikus megnyilvánulása, mely azt mutatja, hogy a modellek nem értik megfelelően az instrukciót, nem tartják a formátumot, és egyenes-fordított párok esetén extrém alacsony konzisztenciát adnak. Ezen jelenlősen segített a `max_new_tokens` paraméter 1-re állítása a `transformers` könyvtár `_BaseModelWithGenerate` típusának a `generate` metódusában. Ez minden esetben garantálta, hogy a modell pontosan 1 tokenben, 1 szóban válaszoljon.

5.3. Méret- és konzisztencia-arányban megfelelő nyelvi modellek kiválasztása és összehasonlítása

A modelleket a Témavezetőm ajánlásával együtt választottam ki. Ő ajánlotta, hogy a LMArena [6] és a Hugging Face [20] platformokon lévő modelleket vizsgáljam meg, de a konkrét modell példány kiválasztását rám bízta. A modellek kiválasztásakor a cél az volt, hogy kellően kisméretűek legyenek ahhoz, hogy gyorsan lefussanak a lokális környezetben, ám korlátozott paraméterszámuk ellenére a lehető legjobb "konzisztens pontosságot" tudják elérni, azaz minél több kérdésre konzisztensen és a gold standard szerint válaszoljanak.

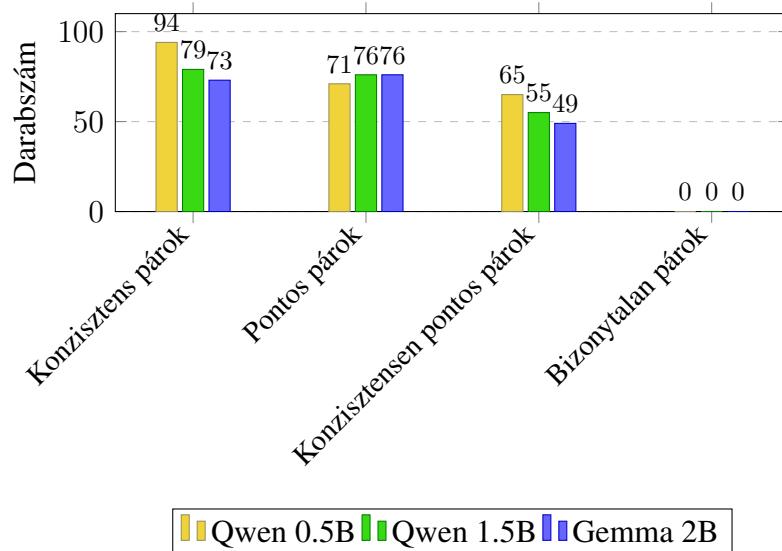
Így a keretrendszeremet és a Colab jegyzetfüzetemet elsősorban a

- Microsoft/Phi-4-mini-instruct [21],
- Google/Gemma-2-2b-it [22],
- Qwen1.5-1.8B-Chat [23],
- Qwen/Qwen2.5-1.5B-Instruct [24] és a
- Qwen/Qwen2.5-0.5B-Instruct [24]

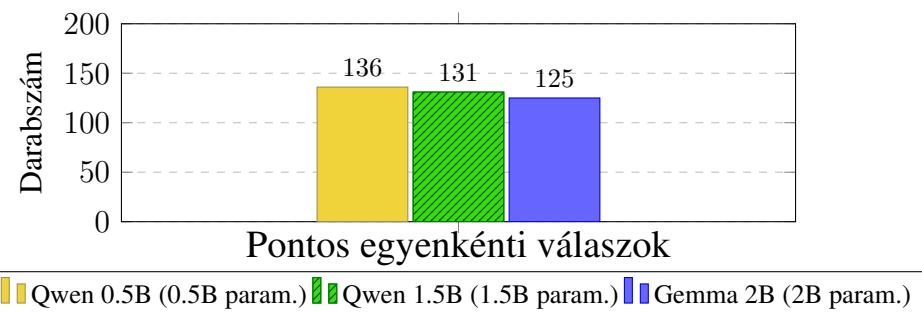
modelleken teszteltem, melyek paraméterszáma 0.5 és 4 milliárd közötti. A méretükhez képest gazdag szókincssel és jó nyelvérzékkel rendelkeznek. Hangsúlyozom, hogy nem a gemma-2b-it, hanem a gemma-2-2b-it változatot választottam.

5.4. Hárrom modell összehasonlítása 100 véletlenszerű kérdezéson

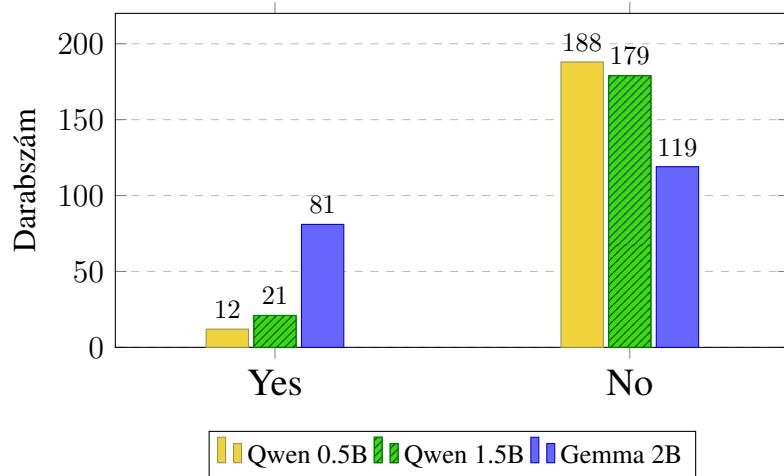
Végül a *Qwen/Qwen2.5–0.5B–Instruct*, a *Qwen/Qwen2.5–1.5B–Instruct* és a *Google/Gemma – 2 – 2b – it* modelleket hasonlítottam össze. Az előbbi kettő az Alibaba Cloud gyártmánya, míg utóbbi a Google szüleme. A választással megfigyelhetjük 2 eltérő méretű (0.5B vs 2B) és gyártójú, ezáltal architektúrájukban is némileg különböző *instruct* modell különbségét. Keretrendszerem érdeme, hogy végül sikerült a három modell válaszadását 100 véletlenszerű kérdésre (és a fordított párokra) hiánytalanul elérni. A modellek hibátlanul csak "Yes" és "No" válaszokat adtak, ezért a "konzisztensen bizonytalan" mérőszámot nem tüntettem fel, és a "bizonytalan" mutatót is csak vizuális kiemelésképpen.



5.1. ábra. Hárrom modell konzisztens, pontos és bizonytalan párokainak száma 100 kérdés-páron



5.2. ábra. Hárrom modell pontos egyenkénti válaszainak (gold standard címkékkel való egyezések) összehasonlítása ugyanezen a 200 véletlenszerű kérdésen.



5.3. ábra. A három modell "Yes" és "No" válaszainak darabszáma ugyanerre a 200 egyenkénti kérdésre.

A kísérlet

- reprodukálható, azaz a Python keretrendszer telepítése után bárki meg tudja ismételni a kísérletet,
- és izolált, azaz a modell egyik futtatásban sem "tud" semmit a korábbi bemeneteiről és válaszairól.

6. fejezet

Konklúzió

Tisztán látható, hogy a Qwen2.5-0.5B-Instruct és a Qwen2.5-1.5B-Instruct modell is jelentősen előnyben részesíti a "nem" választ (0.5B: 188 darab, 1.5B: 179 darab), míg a Gemma-2-2b-it modell jóval kiegyensúlyozottabb eloszlást mutat (81 „igen” és 119 „nem” válasz). A jelenség fő oka valószínűleg az, hogy a kisebb méretű Qwen-modelleknek nincs elegendő lexikális tudása a WiC-adathalmazra jellemző egzotikus, speciális lexémáknak magas szintű szemantikus reprezentációjához, így biztonsági okokból a „nem ugyanazt jelentik” predikció felé hajlanak.

A páronkénti pontosság vizsgálata ugyanakkor árnyalja a képet: míg az 1.5B modell válasza 76 pár esetében egyezett legalább félig a gold standarddal, addig a 0.5B modell esetén 71, a Gemma esetén pedig 76, vagyis a nagyobb Qwen-modell és a Gemma modell közel azonos teljesítményt mutatott ezen a téren, enyhén megelőzve a félmilliárd paraméteres modellt.

A Gemma-2-2b-it modell az arányos válaszadás tekintetében sokkal stabilabbnak bizonyult, mint a Qwen modellek, mivel nem torzult el egyetlen válaszkategória irányába sem, ami arra utal, hogy a Google által alkalmazott tanítási eljárás jobb általánosító képességet eredményez a bináris szemantikai döntési feladatokon.

A konzisztensen pontos párok számában szintén megfigyelhető a különbség: a 0.5B modell 65 egyezést adott, míg az 1.5B modell 55-öt, a Gemma pedig 49-et. Ez elsősorban arra vezethető vissza, hogy a legkisebb Qwen-modell – a válaszainak erős „nem”-túlsúlya miatt – szinte minden "nem" címkét eltalált a gold standarból. A jelenség rávilágít arra, hogy a magas konzisztencia és "konzisztens helyesség" mutató nem feltétlenül jelenti a szemantikai megértés tényleges javulását, mivel a következetes negatív válaszadás torzítja a "konzisztensen pontos" mérőszámot. Bár ez a stratégia statisztikailag kedvező konzisztens viselkedést eredményez, nem szolgáltat bizonyítékot arra, hogy a modell összetettebb, jelentésérzékeny feladatok esetén is következetes és megalapozott döntéshozatalra képes.

Emiatt erre az egyszerűsített bináris döntési feladatra a 0.5B modell jelentősen jobb mutatókat ért el. (a Qwen2.5-1.5B-Instruct 94%!). Ezt az egyoldalúságot valószínűleg továbbberősíti az adathalmaz mondatainak jellemző nem-köznyelvi jellege, hiszen nagyrészt régies, tudományos, irodalmi szövegeket tartalmaz. Ilyesfajta szövegeket egy ilyen kisméretű, köznyelvi angol megértésére szánt modell nem tud megfelelően ábrázolni és értelmezni. Ezzel szemben a Gemma-2-2b-it modell kiegyensúlyozottabb viselkedést mutatott adott, amely valószínűleg annak köszönhető, hogy a Google tanítási folyamata során

jobb általánosító képességet ért el a modell, amely így kevésbé hajlamos a "nem" válasz túlsúlyára. A modell-válaszok semleges („bizonytalan”) kategóriába esése egyik modell-nél sem fordult elő.

Említésre méltó az inferenciák időkülönbsége is a három modell között, amelyben viszont jelentősen nyert a *Qwen* 2.5 – 0.5B – *Instruct*. A *Qwen* félmilliárd paraméteres modellje esetén átlagosan 6 másodpercet vett igénybe egy kérdés megválaszolása, a más-félmilliárd paraméteres modellje esetén már 16-30 másodpercet, míg a *Gemma* modell esetén az átlagos válaszidő kb. 35(!) másodperc volt. Megfigyelhető tehát, hogy a méret növekedésével az inferencia futásideje szuperlineárisan növekszik.

A hipotézisekre reagálva ugyan elmondható egyrészt, hogy a paraméterszám növekedésével a modellek páronkénti pontossága javul, ám a többi metrikában nem figyelhető meg egyértelmű javulás, sőt teljesítményromlás jellemző. Másrészt a nagyobb *Qwen* modell paraméterszáma ugyan nem különbözik nagyban a *Gemma* modellétől, ám mégis jelentős eltérések mutatkoznak a válaszok eloszlásában és a konzisztens viselkedésben, amely arra utal, hogy a modell architektúrája és a tanítási eljárás is lényeges hatással van a teljesítményre, nem csupán a paraméterszám.

Sikerült olyan mértékben automatizálnom a keretrendszeret, hogy az elkészült szoftver jelentősen megkönnyítette a végső kísérlet elvégzését és így a saját munkámat. Arról nem is beszélve, hogy a keretrendszer nyomonkövethetővé és jól ellenőrizhetővé teszi az eredményeket. A munkafolyamatok túlnyomó többségét sikerült teljesen automatizálnom, megelőzve a manuális kiértékelést és ellenőrzést. Ha az elkészült munkámmal legalább egy embernek segítettem, akkor már megérte elkészítenem. Bízom benne, hogy a keretrendszerem és a kísérletem hasznos lesz a jövőben mások számára is.

Irodalomjegyzék

- [1] Alex Wang és tsai. *SuperGLUE: A Stickier Benchmark for General-Purpose Language Understanding Systems*. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2020. arXiv: 1905.00537 [cs.CL]. URL: <https://arxiv.org/abs/1905.00537>.
- [2] Mohammad Taher Pilehvar és Jose Camacho-Collados. „WiC: the Word-in-Context Dataset for Evaluating Context-Sensitive Meaning Representations”. *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers)*. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. Minneapolis, Minnesota: Association for Computational Linguistics, 2019. jún., 1267–1273. old. DOI: 10.18653/v1/N19-1128. URL: <https://aclanthology.org/N19-1128/>.
- [3] Hugging Face. *Hugging Face Hub*. <https://huggingface.co/>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2025.
- [4] Jingyuan Yang és tsai. „Enhancing Semantic Consistency of Large Language Models through Model Editing: An Interpretability-Oriented Approach”. *Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2024*. Szerk. Lun-Wei Ku, Andre Martins és Vivek Srikumar. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. Bangkok, Thailand: Association for Computational Linguistics, 2024. aug., 3343–3353. old. DOI: 10.18653/v1/2024.findings-acl.199. URL: <https://aclanthology.org/2024.findings-acl.199/>.
- [5] Hugging Face. *Hugging Face Open LLM Leaderboard Model Comparator*. <https://huggingface.co/spaces/open-llm-leaderboard/comparator>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10.
- [6] Wei-Lin Chiang és tsai. *Chatbot Arena: An Open Platform for Evaluating LLMs by Human Preference*. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024. arXiv: 2403.04132 [cs.AI]. URL: <https://arxiv.org/abs/2403.04132>.
- [7] Ollama Team. *Ollama: Run LLMs locally*. <https://ollama.com>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024.
- [8] Georgi Gerganov. *llama.cpp: Port of Meta’s LLaMA models in C/C++*. <https://github.com/ggml-org/llama.cpp>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024.
- [9] Woosuk Kwon és tsai. *Efficient Memory Management for Large Language Model Serving with PagedAttention*. <https://github.com/v11m-project/v11m>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2023.

- [10] LM Studio Team. *LM Studio: Desktop application for running local LLMs*. <https://lmstudio.ai>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024.
- [11] oobabooga. *Text Generation WebUI*. <https://github.com/oobabooga/text-generation-webui>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024.
- [12] GPT4All Team. *GPT4All: Local large language model ecosystem*. <https://gpt4all.io>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024.
- [13] Michael E. Lesk. „Automatic Sense Disambiguation Using Machine Readable Dictionaries: How to Tell a Pine Cone from an Ice Cream Cone”. *Proceedings of the 5th Annual International Conference on Systems Documentation (SIGDOC '86)*. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. New York, NY, USA: ACM, 1986, 24–26. old. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/318723.318728>.
- [14] Paul-Edouard Sarlin és tsai. *SuperGlue: Learning Feature Matching with Graph Neural Networks*. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2020. arXiv: 1911.11763 [cs.CV]. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.11763>.
- [15] George A. Miller. „WordNet: A Lexical Database for English”. (1994). Utolsó megtekintés: 2025-12-10. URL: <https://aclanthology.org/H94-1111/>.
- [16] Ari Holtzman és tsai. „The Curious Case of Neural Text Degeneration”. *Proceedings of the 8th International Conference on Learning Representations (ICLR)*. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2020. arXiv: 1904.09751. URL: <https://arxiv.org/abs/1904.09751>.
- [17] OpenAI Community Forum. *What is the context window of GPT-4?* <https://community.openai.com/t/what-is-the-context-window-of-gpt-4/701256>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10.
- [18] Gábor Berend. *11_phi.ipynb*. https://colab.research.google.com/drive/1GQRiTDNWwNPP_PPARYd1swY1Oiai9Ey_. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2025.
- [19] Robert C. Martin. *Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2008. ISBN: 978-0-13-235088-4.
- [20] Thomas Wolf és tsai. „HuggingFace’s Transformers: State-of-the-art Natural Language Processing”. *arXiv preprint arXiv:1910.03771* (2019). Utolsó megtekintés: 2025-12-10. URL: <https://arxiv.org/abs/1910.03771>.
- [21] Microsoft. *Phi-4-mini-instruct*. <https://huggingface.co/microsoft/Phi-4-mini-instruct>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024.
- [22] Google. *Gemma-2-2b-it*. <https://huggingface.co/google/gemma-2-2b-it>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024.
- [23] Qwen. *Qwen1.5-1.8B-Chat*. <https://huggingface.co/Qwen/Qwen1.5-1.8B-Chat>. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024.
- [24] Qwen Team. *Qwen2.5: A Party of Foundation Models*. Utolsó megtekintés: 2025-12-10. 2024. szept. URL: <https://qwenlm.github.io/blog/qwen2.5/>.

Nyilatkozat

Alulírott Fábián Bernát, programtervező informatikus BSc szakos hallgató, kijelentem, hogy a dolgozatomat a Szegedi Tudományegyetem Informatikai Intézet Mesterséges Intelligencia Tanszékén készítettem, a programtervező informatikus BSc diploma megszerzése érdekében.

Kijelentem, hogy a dolgozatot más szakon korábban nem védtem meg, saját munkám eredménye, és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem, hogy szakdolgozatomat / diplomamunkámat a Szegedi Tudományegyetem Informatikai Intézet könyvtárában, a helyben olvasható könyvek között helyezik el.

Szeged, 2025. december 13.

.....

aláírás

Köszönnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a családomnak, barátaimnak, ismerőseimnek, tanáraimnak és egyetemi tanáraimnak, akik végigkísértek utamon és támogattak tanulmányaim alatt. Köszönetet szeretnék továbbá nyilvánítani szüleimnek, testvéreimnek és barátaimnak, hogy mindenben támogattak. Külön köszönetet szeretnék mondani mindenknak akik tesztelték és átnézték a munkámat.

Végül, de nem utolsó sorban köszönetet szeretnék mondani **témavezetőmnek, Bérend Gábornak**, hogy konzulensként és témavezetőként segített a szakdolgozatom megírásában.

Elektronikus mellékletek

- A keretrendszer forráskódja GitHubon, a GitHub/Fabbernat/Thesis repozitóriumban található.
- A szakdolgozat pdf forráskódja a GitHub/Fabbernat/Thesis-paper repozitóriumban található.
- A modelleket futtató Google Colab jegyzetfüzetem: ezen a linken található.
- A nyelvi modellek tesztelésének és kiértékelésének régi eredményei ebben a Generative Language Models táblázatban tekinthetők meg.