

Általános információk, a diplomaterv szerkezete

A diplomaterv szerkezete a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán:

1. Diplomaterv feladatkiírás
2. Címoldal
3. Tartalomjegyzék
4. A diplomatervező nyilatkozata az önálló munkáról és az elektronikus adatok kezeléséről
5. Tartalmi összefoglaló magyarul és angolul
6. Bevezetés: a feladat értelmezése, a tervezés célja, a feladat indokoltsága, a diplomaterv felépítésének rövid összefoglalása
7. A feladatkiírás pontosítása és részletes elemzése
8. Előzmények (irodalomkutatás, hasonló alkotások), az ezekből levonható következtetések
9. A tervezés részletes leírása, a döntési lehetőségek értékelése és a választott megoldások indoklása
10. A megtervezett műszaki alkotás értékelése, kritikai elemzése, továbbfejlesztési lehetőségek
11. Esetleges köszönetnyilvánítások
12. Részletes és pontos irodalomjegyzék
13. Függelék(ek)

Felhasználható a következő oldaltól kezdődő \LaTeX diplomatervsablon dokumentum tartalma.

A diplomaterv szabványos méretű A4-es lapokra kerüljön. Az oldalak tükörmargóval készüljenek (mindenhol 2,5 cm, baloldalon 1 cm-es kötéssel). Az alapértelmezett betűkészslet a 12 pontos Times New Roman, másfeles sorközzel, de ettől kismértékben el lehet térni, ill. más betűtípus használata is megengedett.

Minden oldalon – az első négy szerkezeti elem kivételével – szerepelnie kell az oldalszámnak.

A fejezeteket decimális beosztással kell ellátni. Az ábrákat a megfelelő helyre be kell illeszteni, fejezetenként decimális számmal és kifejező címmel kell ellátni. A fejezeteket decimális aláosztással számozzuk, maximálisan 3 aláosztás mélységben (pl. 2.3.4.1.). Az ábrákat, táblázatokat és képleteket célszerű fejezetenként külön számozni (pl. 2.4. ábra, 4.2. táblázat vagy képletnél (3.2)). A fejezetcímeket igazítsuk balra, a normál szövegnél viszont használjunk sorkiegyenlítést. Az ábrákat, táblázatokat és a hozzájuk tartozó címet igazítsuk középre. A cím a jelölt rész alatt helyezkedjen el.

A képeket lehetőleg rajzoló programmal készítsék el, az egyenleteket egyenlet-szerkesztő segítségével írják le (A \LaTeX ehhez kézenfekvő megoldásokat nyújt).

Az irodalomjegyzék szövegekőzi hivatkozása történhet sorszámozva (ez a preferált megoldás) vagy a Harvard-rendszerben (a szerző és az évszám megadásával). A teljes lista névsor szerinti sorrendben a szöveg végén szerepeljen (sorszámozott irodalmi hivatkozások esetén hivatkozási sorrendben). A szakirodalmi források címeit azonban mindig az eredeti nyelven kell megadni, esetleg zárójelben a fordítással. A listában szereplő valamennyi publikációra hivatkozni kell a szövegben (a L^AT_EX-sablon a BibT_EX segítségével mindezt automatikusan kezeli). Minden publikáció a szerzők után a következő adatok szerepelnek: folyóirat cikkeknel a pontos cím, a folyóirat címe, évfolyam, szám, oldalszám tól-ig. A folyóiratok címét csak akkor rövidítsük, ha azok nagyon közismertek vagy nagyon hosszúak. Internetes hivatkozások megadásakor fontos, hogy az elérési út előtt megadjuk az oldal tulajdonosát és tartalmát (mivel a link egy idő után akár elérhetetlenné is válhat), valamint az elérés időpontját.

Fontos:

- A szakdolgozatkészítő / diplomatervező nyilatkozata (a jelen sablonban szereplő szövegtartalommal) kötelező előírás, Karunkon ennek hiányában a szakdolgozat/diplomaterv nem bírálható és nem védhető!
- Mind a dolgozat, mind a melléklet maximálisan 15 MB méretű lehet!

Jó munkát, sikeres szakdolgozatkészítést, ill. diplomatervezést kívánunk!

FELADATKIÍRÁS

A feladatkiírást a tanszéki adminisztrációban lehet átvenni, és a leadott munkába eredeti, tanszéki pecséttel ellátott és a tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni (ezen oldal *helyett*, ez az oldal csak útmutatás). Az elektronikusan feltöltött dolgozatban már nem kell beleszerkeszteni ezt a feladatkiírást.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

Mély neuronháló alapú orosz nyelvű beszédfelismerő fejlesztése

SZAKDOLGOZAT

Készítette

Dobsinszki Gergely

Konzulens

dr. Mihajlik Péter

2020. november 15.

Tartalomjegyzék

Kivonat	i
Abstract	ii
1. Bevezetés	1
1.1. Gépi beszédfelismerés	1
1.2. Út az end to end alapú gépi beszédfelismerésig	2
1.3. Az orosz nyelv	2
1.4. Diplomaterv felépítése	3
2. A követelmények elemzése	5
2.1. Beszédfelismerés bemutatása	5
2.2. Korszerű architektúrák és tervezés	5
2.3. Orosz nyelvű implementáció	6
2.4. Optimalizálás és kiértékelés	7
2.5. Munka összegzése és kitekintés	7
3. Az end-to-end beszédfelismerés elmélete	8
3.1. Hagyományostól az end-to-end-ig	8
3.2. A beszédfelismerés lépései	9
3.2.1. Előfeldolgozás	9
3.2.2. Neurális hálók	10
3.2.3. CTC dekódolás és loss számítás	14
3.3. Létező megoldások	16
3.4. Következtetések	17

4. Tervezés és implementáció	18
4.1. Tervezés, döntési lehetőségek értékelése	18
4.1.1. Python	18
4.1.2. NeMo	18
4.1.2.1. PyTorch	19
4.1.2.2. QuartzNet	19
4.1.3. TensorBoard	20
4.2. Angol, majd orosz	21
4.2.1. Google Colab	21
4.3. Adatbázisok	22
4.3.1. Adatok előfeldolgozása	23
4.3.2. AN4	23
4.3.3. LibriSpeech	24
4.3.4. Mozilla Common Voice	24
4.3.5. További orosz adatbázisok	24
4.4. NeMo beállítása	25
4.5. Kísérletek	25
5. Implementáció	26
5.1. Tanítóadatok előkészítése	26
5.2. Modellek kimentése és betöltése	26
5.3. Kalibráció angol nyelv segítségével	27
5.4. Orosz nyelvű hálók	29
5.4.1. Szükséges módosítások	29
5.4.2. NeMo config fájl	29
5.4.3. Transfer learning	29
6. Összefoglalás	30
7. L^AT_EX-eszközök	31
7.1. A szerkesztéshez használatos eszközök	31
7.2. A dokumentum lefordítása Windows alatt	31
7.3. Eszközök Linuxhoz	33

8. A dolgozat formai kivitele	35
8.1. A dolgozat kimérete	35
8.2. A dolgozat nyelve	35
8.3. A dokumentum nyomdatechnikai kivitele	36
9. A L^AT_EX-sablon használata	37
9.1. Címkék és hivatkozások	37
9.2. Ábrák és táblázatok	38
9.3. Felsorolások és listák	40
9.4. Képletek	41
9.5. Irodalmi hivatkozások	43
9.6. A dolgozat szerkezete és a forrásfájlok	47
9.7. Alapadatok megadása	50
9.8. Új fejezet írása	50
9.9. Definíciók, tételek, példák	50
Köszönetnyilvánítás	51
Függelék	52
F.1. A TeXstudio felülete	52
F.2. Válasz az „Élet, a világmindenség, meg minden” kérdésére	53
Irodalomjegyzék	52

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott *Dobsinszki Gergely*, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy autentikált felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Budapest, 2020. november 15.

Dobsinszki Gergely

hallgató

Kivonat

Jelen dokumentum egy diplomaterv sablon, amely formai keretet ad a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán végző hallgatók által elkészítendő szakdolgozatnak és diplomatervnek. A sablon használata opcionális. Ez a sablon \LaTeX alapú, a *TeXLive* \TeX -implementációval és a PDF- \LaTeX fordítóval működőképes.

Abstract

This document is a \LaTeX -based skeleton for BSc/MSc theses of students at the Electrical Engineering and Informatics Faculty, Budapest University of Technology and Economics. The usage of this skeleton is optional. It has been tested with the *TeXLive* \TeX implementation, and it requires the PDF- \LaTeX compiler.

1. fejezet

Bevezetés

1.1. Gépi beszédfelismerés

Az automatikus gépi beszédfelismerés (ASR) régóta foglalkoztatja az emberek fantáziáját. Személyi asszisztens formájában már évtizedekkel ezelőtt találkozhatott vele az átlagos sci-fi kedvelő. De már napjainkban is ott lapul a zsebünkben a technológia, az okos-telefonjaink, melyek a legtöbb ember számára a mindennapok részét képezik, rendelkeznek beszédfelismerő funkcióval. Legyen az egy egyszerűbb személyi asszisztens, amely segítségével például könnyedén beállíthatóak emlékeztetők, vagy egy egyszerű Google Search-ön alapuló keresés, melyhez a begépelést hang segítségével is el lehet végezni. Napjainkban is egyre inkább hódít, jó példa rá az Amazon Alexa-ja, aminek a segítségével több okos eszköz is kezelhető a lakóterünkben.

Ezek a technológiák mind automatikus beszédfelismerésen alapszanak, amelyet alkalmazva az ember kizárólag hang interfész segítségével tud kommunikálni a géppel, mintha csak egy másik emberrel csevegne. Ez a megközelítés nagy szabadságot nyújt a kommunikáló számára, nem köti többé billentyűzet, egér, érintőképernyő de még monitor, kijelző sem. Az egyre inkább pontosodó, esetenként még az emberi precizitáson is túlmutató, felismerés nyújtotta lehetőségek felhasználási területe egyre bővül, a technológia egyre inkább bekerül a köztudatba és mindennapjainkba.

1.2. Út az end to end alapú gépi beszédfelismerésig

A fonográf, egy Thomas Eddison által jegyzett 1877-es találmány, volt az első eszköz mely hang rögzítésére alkalmas volt. A módszer finomításával és térhódításával, illetve a számítógépek megjelenésével, és a digitalizációval egyre inkább elterjedt és fejlődött a hangrögzítés. Az első komoly eredményeket felmutató kutatási projektet a beszédfelismerés területén az Egyesült Államokbeli Fejlett Védelmi Kutatási Projektek Ügynöksége (DARPA) finanszírozta. A kutatás célja egy 1000 szavat felismerni képes program megalkotása volt, melyet a kitűzött 5 éven belül sikerült is megalkotni [?].

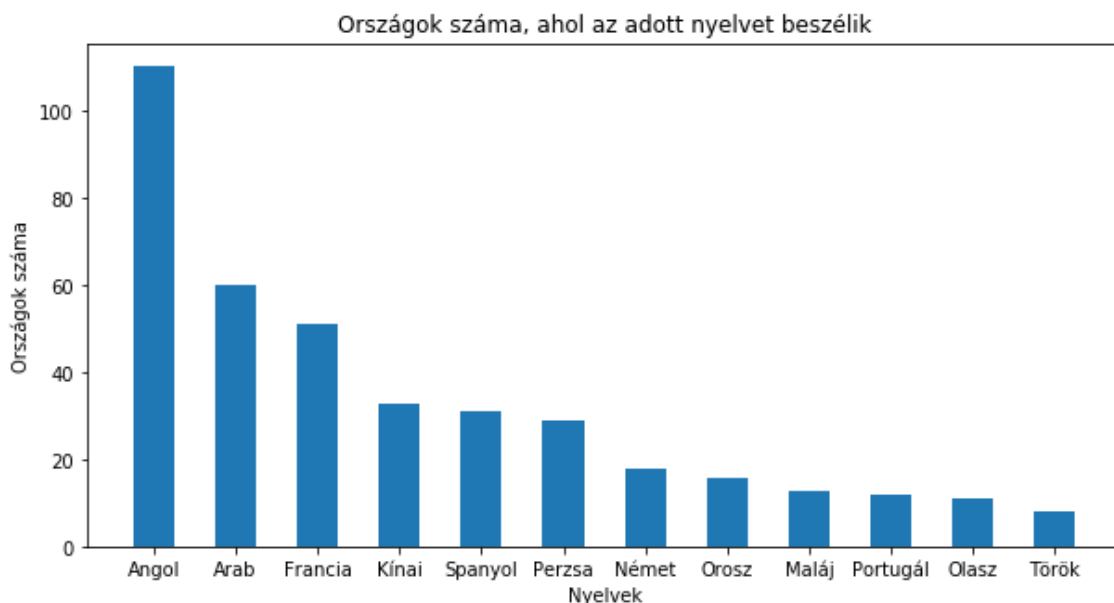
Az 1980-as években egy újabb technológia a rejtett Markov modell forradalmasította a gépi beszédfelismerést. Segítségével pontosítható volt az ismeretlen hangok szóként való felismerésének a valószínűsége. A modell napjainkban is nagy sikerességnek örvend, rendkívül elterjedten használják különböző elemekkel, akusztikus- és nyelv modellekkel, párosítva a lehető legprecízebb beszédfelismerés végett.

A neurális hálók térhódításával 2010-es években megjelent egy alternatív, folyamatosan terjedő megközelítés az end-to-end alapú beszédfelismerés. Segítségével kiküszöbölhető a komplex, több elemből álló módszerek alkalmazása, és egy egységből felépülő modell állítható elő.

1.3. Az orosz nyelv

Ahogy az a 1.1-es ábrán látható világszerte az egyik legelterjedtebb nyelv az angol, mely nem csak a közösségi, társadalmi és politikai, hanem a tudományos életet is uralja. Nem meglepő, hogy ezt a nyelvet tekintjük a beszédfelismerő rendszerek pontosságának mérésekor alapnak, ezen a nyelven vannak a legkiterjedtebb szabadon elérhető beszéd adatbázisok is.

Számos nyelvet beszélnek világszerte az angol mellett, sokak számára viszont az angol nem az anyanyelvük, estleg egyáltalán nem beszélik azt. Beszédfelismerés során tehát szükséges egyéb hivatalos nyelveket is vizsgálni és kutatni.



1.1. ábra. Országok száma, melyekben az adott nyelvet beszélik. [?]

Oroszország politikai és kulturális befolyása a világ ügyeibe vitathatatlan, így az orosz nyelv is fontos szerepet tölt be a nemzetközi porondon. Az 1.1-es ábrán látható, hogy elterjedt nyelvnek számít több országban is. Az end-to-end technológia és a neurális hálók által nyújtott lehetőségek megkönnyítik a nyelvek közti átállást, így egy angoltól eltérő nyelv vizsgálata és kutatása gördülékenyen megvalósítható egy angol nyelvű példa alapján.

1.4. Diplomaterv felépítése

A követelmények elemzése fejezetben a sarkalatos pontok kerülnek részletezésre, kifejtésre. Ezen pontok kidolgozásának lehetőségei, esetleges nehézségei kerülnek említésre a felsorakoztatva a tervezés előtt felmerült, megvalósított és elvetett ötleteket.

Az end-to-end beszédfelismerés elmélete rész a beszédfelismerés teóriájával foglalkozik, különösképp kitérve a neurális hálókat alkalmazó implementációra és azok alapjaira. Továbbá tartalmazza az eddigi legjobb megoldásokat, melyeket össze is hasonlít, röviden értékelve azok sikerességét. A levonható következtetések fényében felvázolja a fejlesztés kiindulási alapjának tekinthető állapotot és tervezésbeli döntéseket.

A tervezés és implementáció fejezetet magába foglalja az előzetes döntéseket, a lehetséges kísérletek várható eredményét. A döntési lehetőségeket, értékelve és az azok mögötti ötleteket, esetleges alternatívákkal kiegészítve. A végső soron választott megoldások alátámasztása és indoklása is megjelenik a részben.

Az összefoglaló tartalmazza az elért eredmények bemutatását, azok értékelését és a végső következtetések levonását.

2. fejezet

A követelmények elemzése

2.1. Beszédfelismerés bemutatása

Az irodalomkutatás során az end-to-end alapú beszédfelismerést különböző források, cikkek, internetes blogok és papírok alapján célszerű végezni. Mivel egy egészen új és feltörekvő megközelítésről van szó, célszerű a forrásokat megvizsgálni, összevetni az azonos témáról írtakat az alátámasztás és a könnyebb értelmezhetőség végett.

A neurális hálók működésének bemutatása elengedhetetlen a szerepük nyomán a beszédfelismerésben. Fontos kitérni az end-to-end alap mivoltára, ennek előnyeinek és hátrányainak bemutatása az eddig bevált, hagyományos módszerekkel szemben.

Érdemes az elméleten túl a potenciálisan felhasználható megoldásokat részletesen megismerni, melyek implementálhatók a későbbi tervezés során a jobb eredmények végett.

2.2. Korszerű architektúrák és tervezés

Többféle neuronhálós architektúrák léteznek különböző feladatokra, így a beszédfelismerésre is. Felderítésük, előnyeik és hátrányaik megismerése és összevetésük az irodalomkutatás során végezhető el.

A neurális hálók természetüknél fogva igen összetettek, ezért gyakori az egyes rendszerek magas erőforrásigénye, melyeket a erőforrásszűkében akár kivitelezhetetlen is lenne használni. Ezért célszerű, hogy olyan architektúrát válasszunk, ami az előzőek alapján optimális teljesítményt nyújt, azaz látványos

és felhasználható eredmények elérésére képes a lehető legrövidebb idő alatt a legkevesebb erőforrást felhasználva. A rövid idő alatt lefutó modellek a tesztelési fázist is nagyban felgyorsíthatják, így az idő szerepe kulcsfontosságú, míg természetesen fontos és nem elhanyagolható a pontosság is.

Kezdetben angol nyelven célszerű tesztelni az megtervezett architektúrát és az egyes paramétereinek pontosítását, mivel angol nyelven rengeteg eredmény elérhető, ezáltal összevethető. Ha egy megtervezett rendszer működésének megítélése angol nyelvű adatok alapján megfelelő akkor már célszerű áttérni az orosz nyelvre.

2.3. Orosz nyelvű implementáció

Egy angoltól eltérő nyelvre való áttéréskor el kell végezni annak a vizsgálatát, hogy az újabb nyelv milyen különbségeket rejt. Egy gyakori eltérés az ABC, de előfordulhatnak más előfeldolgozásbeli különbségek is. Ha egy keretrendszer angol nyelvre van optimalizálva, előfordulhat, hogy ezeket a finomításokat el kell vetni és egy általános megközelítést kell alkalmazni az új nyelv tanítása során.

A célnyelvi adatokat különböző forrásokból lehet begyűjteni. Mivel az adatbázisok csak nyíltak lehetnek, ezért ezek megbízhatóságát meg kell vizsgálni akár szűrőpróbaszerűen akár más felhasználók véleménye alapján. Az adatok mérete mind a neurális modellek tanítási ideje mind tárhelykapacitás miatt nem szabad, hogy túl nagy legyen, meg kell találni az optimális mennyiséget.

Tanítás során a jobb eredmény elérése érdekében alkalmazható a transfer-learning, ami egy elterjedt tanítási módszer neurális hálók használata során. Ez a folyamat egy adott architektúrájú, előre tanított modell továbbtanítását foglalja magába. Beszédfelismerés esetén az eredeti modelltől eltérő nyelv alkalmazásánál kihívást jelent a nyelvre való áttérés. Szerencsére lehetőség van az előre tanított modell tetszőleges részeit átvenni, nem szükséges a nyelvspecifikus elemeket is importálni, így azok tanításhoz kezdődhet szeparálva, nulláról.

Célszerű az architektúra tervezésénél gondolni a szabadon elérhető előre tanított modellekre és ilyen felépítéseket is fontolóra venni és megvizsgálni, hiszen csak ezekkel lehetséges a transfer-learning alkalmazása.

2.4. Optimalizálás és kiértékelés

Az elkészült modellt ki kell értékelni, összehasonlítani más eredményekkel és véleményezni az így elért eredményt. A kiértékeléshez egy elterjedt módszert kell ezért használni, hogy összemérhetőek legyenek az eredmények.

Lehetőség van az eredmény javítására különböző módszerekkel, melyek már ismertek a neurális hálók körében, vagy főként beszédfelismerésnél jelennek meg. Az előbbi csoportba tartozik például az augmentálás, mely folyamat során a meglévő tanítóhalmazt dúsítják különböző módszerekkel. Utóbbi csoportba tartoznak a különböző dekóderek, annak a módja hogy hogyan értelmezzük a valószínűségként kapott kimeneteket az egyes időpillanatokban, illetve a nyelv modellek.

2.5. Munka összegzése és kitekintés

Befejezettképp kerül sor a kitűzött feladatok sikerességének bemutatására, az elért eredmények részletezésére és az esetleges kudarcok a zsákutcák leírására.

További, ki nem próbált lehetőséget és fejlesztési ötletek javaslatát is elvégezzük, indokolva, hogy miért is jelenthetnek fejlődést az eredményekben és hogy ezek miért nem lettek megvalósítva, kipróbálva.

3. fejezet

Az end-to-end beszédfelismerés elmélete

3.1. Hagyományostól az end-to-end-ig

A hagyományos ASR-ok (automatikus beszédfelismerők) több elemből álló, összetett rendszerek, melyek manapság igen pontosan meg tudják állapítani mi volt az eredetileg elhangzott szöveg, és leképezik azt írásos formába. Az egyik legelterjedtebb a HMM (Rejtett Markov Modell) alapú beszédfelismerő rendszer [1]. A rendszernek több eleme is van: egy dekóder mely tartalmaz egy nyelv modellt, akusztikus modelleket és egy kiejtési szótárat is, illetve tartalmaz egy elemet, mely a bemeneti hangból a kiemelt jellemzőket, átalakítja őket a rendszer által kezelhető formájúvá. A HMM-en alapuló rendszerek fő eleme a Viterbi algoritmus [?], mely dinamikus programozást alkalmazva találja meg a legjobb illeszkedést a bemeneti szöveg és az adott beszéd modell közt.

A rendszer különböző elemek erősen függenek egymástól. Ha az egyik nem rendeltetés szerűen működik és rossz kimenetet ad, akár saját vagy egy korábbi elem hibájából kifolyólag az befolyásolja a többi elemet is, így elrontva, torzítva a kapott végeredményt. Az egyes elemeket külön-külön kell kalibrálni, tanítani és tökéletesíteni.

Ezzel szemben, a napjainkban egyre inkább népszerű, E2E (end-to-end) alapú beszédfelismerő rendszerek [2] sokkal egyszerűbb, kevesebb köztes elemet

igénylő megközelítést nyújtanak. Bizonyos szituációkban, ahol egy specifikusabb szöveggörnyezetben, pl. pénzügyi vagy jogi, elhangzó szavak azonosítása a cél, már a hagyományos ASR rendszereknél is pontosabb eredményeket képesek produkálni.

Az E2E rendszerek mély neurális hálókön alapszanak, közvetlen bemenetük a nyers hang, kimenetük pedig a becsült szöveg. Természetesen a neurális háló bemenetéhez a hangot még előre fel kell dolgozni, amit pre-processing-nek neveznek. A háló kimenete pedig az egyes bemeneti időegységekre becsült karakterek valószínűségei melyekből ki kell nyerni a végső, feltételezett szöveget.

3.2. A beszédfelismerés lépései

3.2.1. Előfeldolgozás

A beszéd előfeldolgozása az első fontos lépése a beszédfelismerő rendszereknek. Vannak törekvések, melyekben a E2E neurális hálónak közvetlenül a nyers, feldolgozatlan hanganyagot adják meg és ez alapján tanítják [4], ezáltal még inkább tisztán a neurális háló működésére támaszkodva. Egyelőre ennek a megközelítésnek az eredményei messze elmaradnak a hang előfeldolgozásával elérhető SOTA modellek pontosságától.

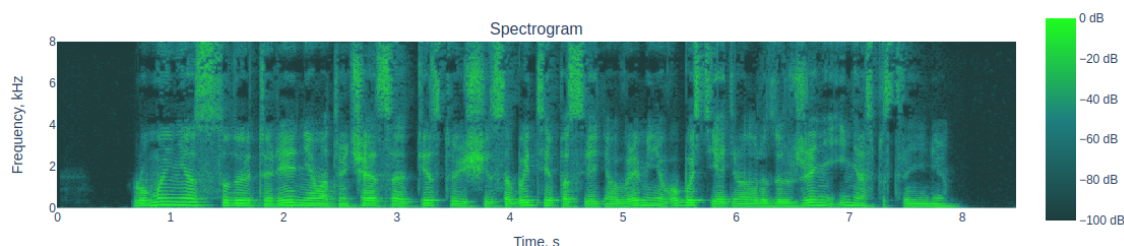
A két fő megközelítés többnyire hasonló, apró eltérésekkel. Az egyik legelterjedtebb és bevált átalakítás a spektogram.

Ahogy az 1. ábrán is látható, a spektogramm három tengely mentén reprezentálja az adatot. Az x tengelyen az idő, míg az y tengelyen a frekvencia van megadva. Van továbbá egy harmadik tengely is, ami színnel van jelölve és mértékegysége a decibel. Ez a jel amplitúdója vagy energiája. Világosabb szín erősebb, hangosabb hangot, illetve sötétebb szín gyengébb, alacsonyabb hangot jelképez.

A szokványos spektrogrammon kívül használatos még a MFCCs (Mel-Frequency Cepstral Coefficients) is. Felépítése hasonló a spektogramméval, viszont a frekvencia helyett MFC koefficiens [?] értéke van az y tengelyen. Ez a Mel skála, amely úgy van megválasztva, hogy a skálán egyelő távolságra lévő hangok az emberi fül számára is hasonló távolságúnak tűnjenek. A frekvenciához képest egy lényeges

változást jelent, hiszen az ember számára könnyen hallható kisebb frekvenciákon, például az 500 Hz és 1000 Hz közötti különbség, míg 6500 Hz és 7000 Hz között már kevésbé számottevő az eltérés. Ez utóbbi érték nagyságrendekkel kisebb a frekvencia értéknél így lényegesen befolyásolhatja a neurális háló tanulási folyamatát.

Az előfeldolgozott jelet időegységekre bontjuk, melyek már a neurális háló bemenetét képezik. A kimeneten az egyes időegységekre kapott predikciókból pedig összeállítható a feltételezett szöveg.



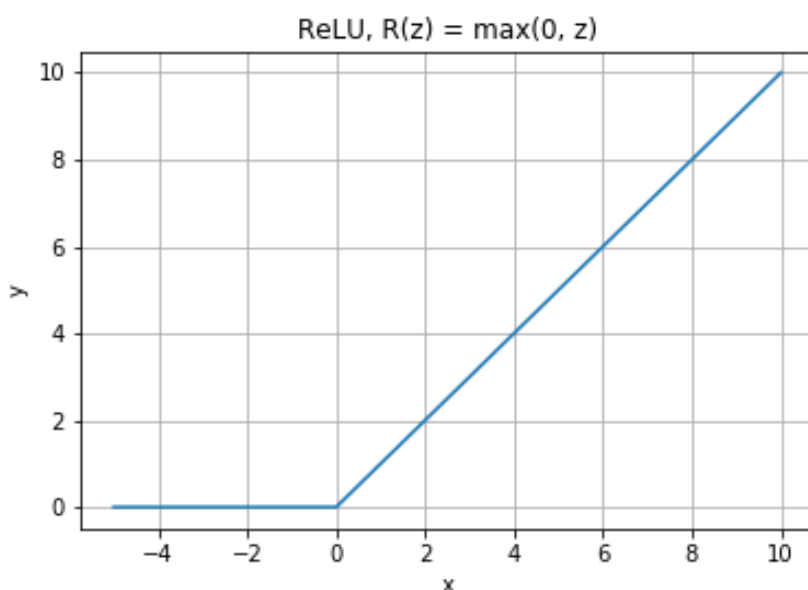
3.1. ábra. Spectrogram.

3.2.2. Neurális hálók

A neurális hálók az emberi idegek működésének mintája alapján modellezett láncolatok. Számos különböző, komplex feladat megoldására előszeretettel alkalmazzák őket. Röviden összefoglalva három fő alkotó részt kell elképzelni. Egyik a bemenet, például egy kép esetén a pixelek, beszédfelismerés esetén az egyes időpillanatokhoz tartozó értékek vektor formában. Spektogram esetén az időpillanathoz tartozó vektor egyes elemei a frekvenciát jelképezik és az elemek értéke pedig a hangerősséget.

A neurális háló közbülső, rejtettnek, nevezett része tetszőleges méreteket ölthet. Az egyes rétegek pontjai mindig az előző réteg pontjaival vannak összekötve úgy nevezett súlyok segítségével. Az újabb rétegek pontjainak értékét az abba befutó súlyok, illetve a súlyok és kiinduló pontjuk szorzatainak az összegével számítjuk. A pontok végső értéke még egy aktivációs függvénynek nevezett kiértékelésen is keresztül megy, mielőtt a következő réteg értékeit kiszámítatnánk vele. Az aktivációs függvények igen eltérőek lehetnek, egy népszerű függvény a ReLU, ami a 3.2-es ábrán látható. Ezeket a pontokat neuronoknak szokás nevezni, innen ered a neurális

háló kifejezés. A háló tanítása során ezen súlyok értékét módosítjuk úgy, hogy a legoptimálisabb, számunkra kedvezőnek vélt eredményt kapjuk.



3.2. ábra. A ReLU aktivációs függvény.

Az utolsó réteg a kimeneti réteg, ahol az eredményt kapjuk meg. A kimeneti réteg lehet regresszív, egy előre meg nem határozott, tetszőleges érték, vagy a mi esetünkben klasszifikáció, amikor előre meghatározott címkék (label-ek) valószínűségére vagyunk kíváncsiak. Legegyszerűbb esetben a legvalószínűbb címke kerül kiválasztásra válaszként.

A valószínűség kiszámításához a softmax [?] függvényt szokás használni, ami szintén egy aktivációs függvény. A függvény egy vektor bemenetet megkapva normalizálja a vektor egyes értékeit úgy, hogy azok új értékei 0 és 1 közé essenek, miközben az összegük pontosan 1-et adjon. A softmax függvény, ahol x a bemeneti vektort jelöli, míg i és j a vektor egyes elemeinek a sorszámát:

$$\text{softmax}(x)_i = \frac{\exp(x_i)}{\sum_j \exp(x_j)}. \quad (3.1)$$

Neurális háló egyik leggyakoribb tanítási módszere a felügyelt tanítás. Ez azt jelenti, hogy először például egy tanítatlan, véletlenszerűen inicializált, hálóból kiindulva kiértékeljük egy tetszőleges bemenetre a végeredményt. Majd

a végeredmény helyességétől függően változtatjuk a súlyok értékét a hálóban: azon súlyokat melyek egy rossz eredmény nagyobb valószínűségéhez járultak hozzá büntetjük, csökkentjük az értéküket, míg azokat melyek egy jó eredmény pozitív értékéhez járultnak hozzá növeljük. Ezt a folyamatot szokás backpropagation-nak nevezni. A büntetés mértéke is létfontosságú, hiszen fontos, hogy ne csak az adott bemenetre tudjon pontos végeredményt adni a háló, hanem általánosan is pontos legyen.

Az egyik legegyszerűbb réteg típus a Dense (sűrű) vagy más néven Fully Connected, ahogy a neve is utal rá az egyes neuronok a súlyokkal sűrűn vannak összekötve. Ez azt jelenti, hogy minden egyes réteg mindegyik neuronja össze van kötve az előző réteg összes neuronjával súlyokon keresztül. Több Dense réteg is követheti egymást, mely esetben az adott réteg összes neuronja össze van kötve a következő réteg összes neuronjával is.

Az E2E-hez használt leggyakoribb neurális háló réteg fajták az rekurens (RNN) és konvolúciós (CNN) rétegek. Ez utóbbit elterjedten használják a különböző képfelismerő feladatok területén is.

Lényegesen összetettebb a Dense rétegnél a konvolúciós réteg [5], melynél egy, a teljes bemenetnél kisebb, kernel-t (egyes forrásokban filter) mozgatunk végig a bemenet elemein és kiértékeljük az általa lefedett értékeket. A lefedett számokat a kernel velük fedésben lévő értékével összeszorozzuk, ezek az értékek főként a -1, 0 és 1, majd a kapott eredményeket összeadjuk. Ezt követően a kernel-t egy megadott értékkel, a stride-al mozgatva kiértékeljük a következő, kernel által lefedett számokat. A konvolúció végezhető egy vagy több dimenziós bemeneten, különböző kernel-ekkel párhuzamosan is, kép esetén például három csatornás képen, ahol a piros kék és zöld értékek külön csatornákon vannak reprezentálva. Egy opcionális lépés, hogy a bement széleit feltöltjük-e nullásokkal, ez az úgy nevezett zero padding. Ennek célja, hogy ugyan akkora legyen a kimenet, mint a padding nélküli bemenet volt. Ezen kívül is szükség lehet padding-re például egy 5x5-ös kép esetén, ha a kernel mérete 3x3 és a stride 3, akkor ki kell tölteni a kép széleit, hogy minden bemeneti értéken legalább egyszer végig menjen a kernel.

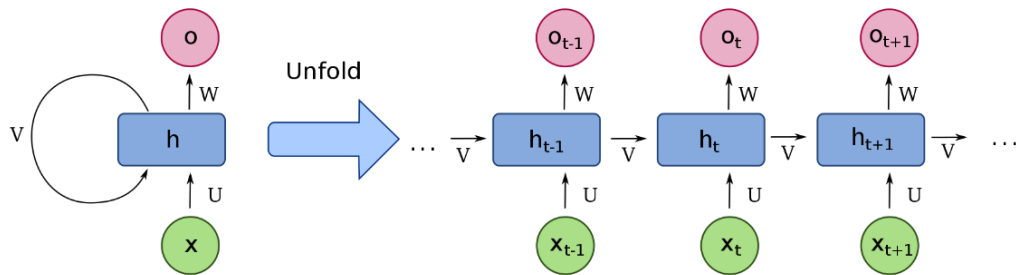
Egy CNN-hez kapcsolódó, kernellel rendelkező rétegtípus a pooling réteg, mely kifejezetten az adat méretének csökkenését szolgálja. Ezzel a célja a számítási

kapacitás csökkentése, miközben minél inkább megőrzi az adatban rejlő információt. Két használt pooling típus a max vagy average pooling. Előbbinél a kernel által befoglalt értékek maximumát választja, míg utóbbinál az átlagukat.

A konvolúciós vagy pooling rétegek működésükből adódóan csökkenthetik a kimenetük méretét, ezáltal ismerni kell annak pontos dimenzióját, a következő réteghez kapcsolódó számítások végett. A kimenet méretét a következő képlettel lehet kiszámolni, ahol 'O' a kimenet mérete, 'W' a bemenet mérete, 'P' a padding mérete, 'K' a kernel mérete és 'S' a stride:

$$O = \frac{W - K + 2P}{S + (1)}. \quad (3.2)$$

A rekurrens rétegek [6] egyik legérdekesebb tulajdonsága, hogy nem csupán a bemeneti súlyokat használják a neuronok kiértékeléséhez, így felhasználva a korábban tanultakat, hanem emlékeznek a korábbi neuron értékeikre is, melyek szintén befolyásolják az aktuális bemenetre kapott eredményt. Beszédfelismerés esetén ezt úgy is el lehet képzelni, hogy ha például elhangzik egy magánhangzó, akkor utána nagy valószínűséggel egy mássalhangzót várunk, ennek fényében, sikeres tanítás esetén, a mássalhangzókat részesíti előnyben egy azt megelőző magánhangzó után. Korábbi időpillanatok, állapotok tehát hozzájárulnak egy újabb állapot kiértékeléséhez a rekurrens rétegben, ahogy ez a 3.3-as ábrán is látható.



3.3. ábra. A rekurrens réteg "kigörgetve" [?].

Két altípusa a rekurrens hálóknak az LSTM és GRU (Long Short Term Memory, Gated Recurrent Unit). Ezek a típusok hasonló elveken működnek, a különbség a neuronok korábbi értékeinek újabb értékekre történő ráhatásának

számítási módjában rejlik. Az LSTM [7] fő célja, hogy kijátssza a hagyományos rekurrens hálók egyik legnagyobb problémáját, azt, hogy a régebbi bemenet súlya nincs hasonló fontossággal kezelve, mint a jelenlegi bemenethez közelebbi érték. Könnyen belátható, hogy fontos lehet egy mondat végi szót vizsgálva, hogy mi volt a szó a mondat elején, akár a vizsgálandó mondat elemet megelőző néhány szónál is. Az LSTM kapukat használ annak megelőzése céljából, hogy egy korábbi értékelés elvesszen, ezáltal kezelhetetlenné téve annak beleszámítását az újabb értékelésnél.

A GRU egy LSTM-hez hasonló újabb fejlesztésű réteg. Egyik fő tulajdonsága, hogy kevesebb elemet tartalmaz, így kevesebb paramétert használ, csökkentve a neurális háló komplexitását, ezáltal a szükséges számítási időt is.

Megemlítendő még a Bi-directional (két irányú) réteg, amely mögött az a gondolat húzódik meg, hogy ne csak a múltbéli bemenetek befolyásolják az adott bemenetünket, hanem a jövőbeliek is. Két rekurrens réteget használ, melyek ellentétes irányban haladnak egymással, így tetszőleges kiértékelésnél használhatóak a korábbi, illetve elkövetkezendő neuronok eredményei is.

3.2.3. CTC dekódolás és loss számítás

A CTC (Connectionist Temporal Classification) [?] funkciója a kimeneti dekódolása, a válasz kiértékelése, mely folyamán átalakítja a kimenetet a megadott címkék valószínűségi szekvenciájára. A címkék lehetnek az egyes karakterek, amik egy adott nyelvben előfordulhatnak. Ez esetben a CTC kiértékeli, hogy melyik betű vagy egyéb karakter hangzott el adott időpillanatban, adott bemenetre [8]. Ereje abban rejlik, hogy nincs szükség a kiértékelésnél a kimeneteket egyenként, karakter szinten összekötni az elvárt szöveggel, elegendő a kimeneti szöveget megadni, azt, amit kapni szeretnénk az adott bemenetre. Másik fontos előnye, hogy a felismert szöveget nem szükséges külön feldolgozni, mivel átalakítja azt a végleges, feltételezett formára. Feldolgozza, hogy egy hosszú hang esetén, mint az 'ú' több időpillanaton keresztül is hallatszik az 'ú' betű, de nekünk a végeredményben csak egy darab 'ú' szükséges.

Felmerülhet egy probléma az összevonással, amikor olyan egymást követő betűket vonunk össze, melyek a szóban külön szerepelnek, mint például az 'ellentét' szóban. Ennek elkerülése végett bevezet a CTC egy üres karaktert, ami nem egyenlő

a szóközzel, és ezt olyan időegységekhez helyezi, ahol nem ismerhető fel betű a megadott szótárból, karaktergyűjteményből. Az ilyen üres karakterrel elválasztott betűket nem fogja összevonni kiértékeléskor.

A neurális háló által végzett kiértékelés után az ember által feldolgozható kimenet megszerzéséig szükség van még a karakterek összeillesztésére. Ehhez különböző elven működő dekódolókat használunk. Az egyik legalapvetőbb dekódolási algoritmus a best path eljárás. Két dolgot végez: kiszámolja a legvalószínűbb útvonalat a kapott kimeneti időegységeken át, majd eltávolítja az egymást követő azonos karaktereket, melyek közt nem található az üres karakter. Végül az üres karaktereket is eltávolítja, így eredményezve a végső predikciót.

További feladata a neurális háló tanításához használt loss kiszámítása [?]. A hiba számítása során a szempontunkból lényegtelen milyen karaktersorozattal jut el a végeredményhez, csupán az a cél, hogy pontosan az adott kimenetet eredményezze. A loss-t tehát úgy számítja, hogy megnézi az összes olyan karaktersorozat valószínűségét, melyből megkaphatja a kívánt eredményt és összegzi őket. Ezáltal az eredeti GT (Ground Truth) szöveg valószínűségi értéke magas, hogyha a megszerzéséhez szükséges kombinációk értékének az összege magas.

A CTC loss számítása a 3.3-as, 3.4-es és 3.5-ös képletek alapján történik, ahol GT az elvárt szöveg, X az egyes akusztikus keretek, C egy adott karaktersorozat és c_t egy adott karakter adott időpillanatban.

$$CTCloss = -\log P(GT|X). \quad (3.3)$$

Összes lehetséges helyes karaktersorozat valószínűségének az összege:

$$P(GT|X) = \sum_{C=A(GT)} P(C|X). \quad (3.4)$$

Egy adott, helyes karaktersorozat valószínűsége:

$$P(C|X) = \prod_{t=1}^T y(c_t, t). \quad (3.5)$$

3.3. Létező megoldások

A beszédfelismerő rendszereket pontosságuk alapján tudjuk rangsorolni. Egy nemzetközileg elismert pontossági mérőszám a WER (Word Error Rate). Ezt a pontosságot szokás szerint egy publikusan elérhető, angol nyelvű hangoskönyv felolvasásokat tartalmazó adatbázison, a LibriSpeech-en¹ mérik.

Különböző, alacsony hibaarányú modellek léteznek, de ez egyik lekiemelkedőbb közülök az Nvidia QuartzNet² modellje, mely alacsony számú paraméterek mellett képes igen nagy precíziót fenntartani. Míg a QuartzNet bonyolultsága, paramétereinek a száma csupán töredéke a legtöbb SOTA modellének, a WER száma megközelíti azokét (3.1-es táblázat).

A modellekben elterjedt a konvolúciós- (CNN) és rekurrens neurális rétegek (RNN) használata.

Model	Aug	LM	clean WER(%)	other WER(%)	Million Parameters
wav2letter++	Speed Perturb	ConvLM	3.26	10.47	208
LAS	SpecAugment	RNN	2.5	5.8	360
Time-Depth Separable Convolutions	Dropout, Label Smoothing	N/A (greedy)	5.36	15.64	37
		4-gram	4.21	11.87	
		ConvLM	3.28	9.84	
Multi- Stream Self- Attention	Speed Perturb	4-gram	2.93	8.32	23
		4-LSTM	2.20	5.82	
QuartzNet- 15x5	Spec Cutout, Speed Perturb	N/A (greedy)	3.90	11.28	19
		6-gram	2.96	8.07	
		Transformer-XL	2.69	7.25	

3.1. táblázat. Egyes angol nyelven tanult SOTA beszédfelismerő modellek és paramétereik.

¹LibriSpeech oldala: <http://www.openslr.org/12/>

²Az Nvidia ismertető oldala: <https://developer.nvidia.com/blog/develop-smaller-speech-recognition-models-with-nvidias-nemo-framework/>

3.4. Következtetések

Megoldásomban az Nvidia QuartzNet alapján indultam el, annak alacsony paraméterszámát figyelembe véve. Egy Pytorch alapú toolkit-et, az Nvidia NeMo-t (Neural Modules) használva kísérleteztem QuartzNet kombinációkkal.

Főként az ingyenesen hozzáférhető Mozilla Common Voice adatbázist használva tanítottam orosz nyelvre a legsikeresebbnek ítélt, 15x5 architektúrájú modellt. A modellt nem véletlenszerűen beállított súlyokkal, hanem transfer learning-et alkalmazva, egy előre tanított angol modellbeli súlyokkal inicializáltam.

Az eredmény finomítása végett próbálkoztam több tanítóadat beiktatásával, mellyel a validációs adathalmaz WER értéke csökkent, így javult. Sajnos a több tanítóadat lényeges megnövelte a tanítás idejét így erőforrások szűkében csökkentette a kísérletezésre jutó időt, ezért ezt a módszert csak kis mértékben alkalmaztam.

4. fejezet

Tervezés és implementáció

4.1. Tervezés, döntési lehetőségek értékelése

4.1.1. Python

A Python napjaink egyik legelterjedtebb programozási nyelve. Egy könnyen programozható és átlátható, interpretált nyelv, melyben a megírt program kódot a Python értelmező sorról-sorra értelmezi és futtatja, nincs különválasztva a forrás és a fordított kód. Deep learning körökben is a Python nyelv dominál, rengeteg deep learning toolkit erre a nyelvre épít, így választásom a fejlesztéshez természetesen a Python nyelvre esett.

4.1.2. NeMo

A neurális hálók komplikáltságából adódik, hogy pontos és precíz implementációjuk igen bonyolult és időigényes. Emiatt célszerű a már meglévő, bejáratott és bizonyított lehetőségeket használni, így felgyorsítva a fejlesztési folyamatot. Több deep learning platform is található az interneten, mint például a Tensorflow vagy PyTorch. Az Nvidia által fejlesztett NeMo egy olyan összetett és folyamatosan karbantartott toolkit, melynek segítségével különböző mesterséges intelligencia alapú társalgási, beszéddel kapcsolatos applikációkat, alkalmazásokat készíthetünk.

Az alap koncepcióját a toolkit-nek az úgynevezett Neurális Modulok alkotják. Ezek a modulok lehetnek például adat rétegek, kódolók, dekóderek, nyelv modellek vagy loss függvények. A modulok ereje abban rejlik hogy egymáshoz viszonyítva

tetszőlegesen építhetők, cserélhetők, törölhetők. Egy egyszerű módosítással kicserélhető például a loss számításához használt függvény anélkül, hogy a kódot a többi modulban módosítani kéne.

Az 3.1-es táblán látható modellek közül az Nvidia fejlesztette a legkevésbé számításigényeset, mely figyelemreméltó eredményeket produkál. Ez a QuartzNet modell, ami az alacsony paraméterszáma ellenére SOTA eredményeket ér el. A felsorolt okokból kifolyólag a fejlesztési folyamat elvégzéséhez választásom a NeMo toolkit-re esett.

4.1.2.1. PyTorch

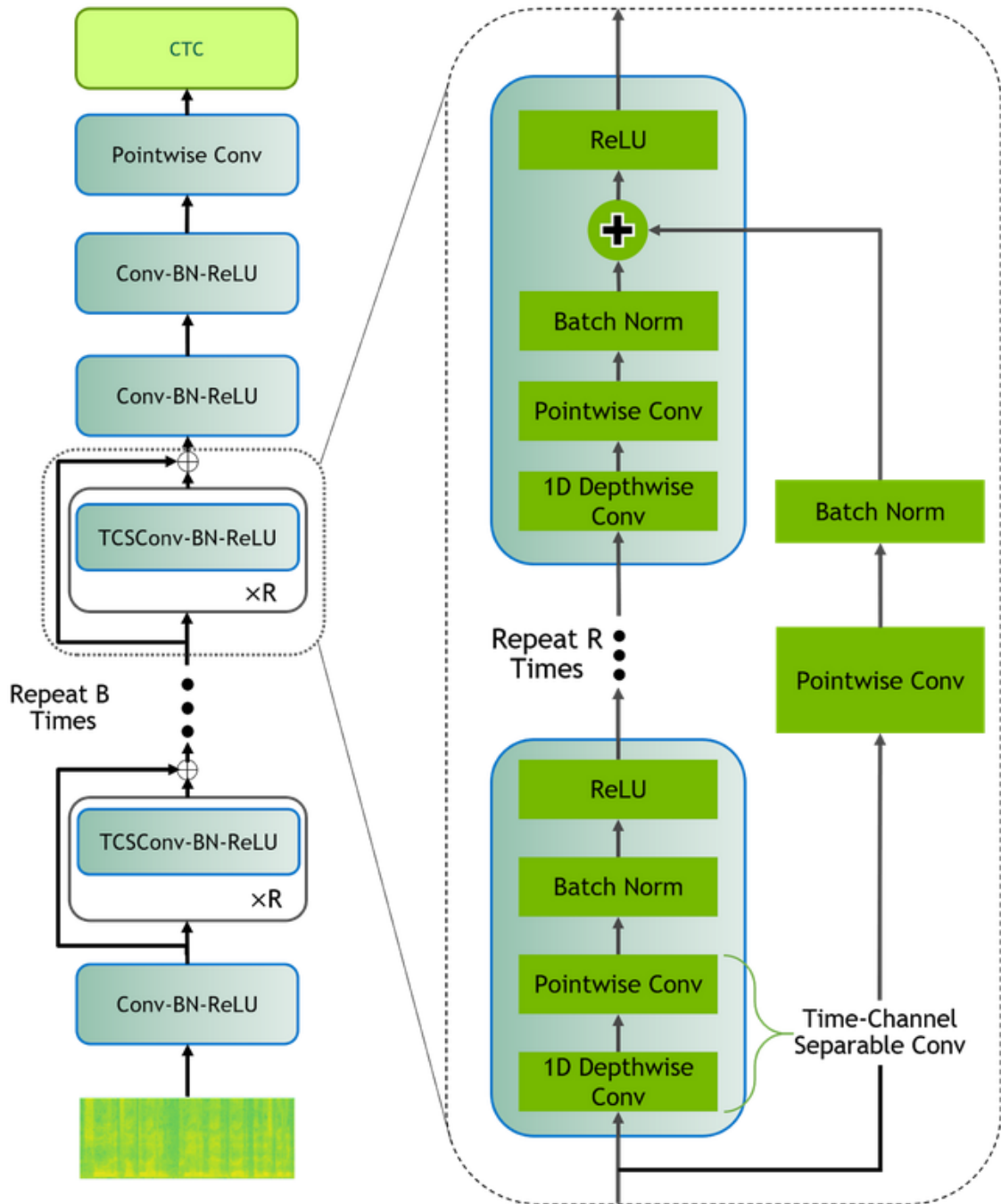
A NeMo a PyTorch nevű, Facebook-os kutatók által fejlesztett, mesterséges intelligencia fejlesztésére szakosodott nyílt forráskódú keretrendszerre épít. A PyTorch a TensorFlow-nál magasabb szintű, könnyebben kezelhető keretrendszer, mely egyre inkább elterjedt a kutatók és fejlesztők körében.

4.1.2.2. QuartzNet

A kísérleteimet QuartzNet architektúrájú modellekkel tervezem elvégezni a korábban említett alacsony paraméterszáma és magas precizitása végett. Az architektúra (4.1-es ábra) nagyban hasonlít egy másik Nvidia által fejlesztett architektúrához, a Jasper-hez. A modell B darab blokkból áll. Egy opcionálisan beállítható dropout modul jelenhet meg a modellben, illetve CTC loss függvény számítás található benne. A már említett blokkok további, R darab blokkból állnak, melyek konvolúciós rétegekből, batch normalizálóból és ReLU aktivációs függvényből épülnek fel. Ezáltal a QuartzNet pontos felépítésére QuartzNet BxR alakban szokás hivatkozni. A legnagyobb Nvidia által készített a Quartznet 15x5, mely 18.9 millió paraméterből áll.

A QuartzNet a Jasper-től a konvolúciós rétegében tér el. A sima egy dimenziós konvolúciós réteg helyett, egy dimenziós idő-csatorna szerinti (time-channel separable) konvolúciós rétegeket használ. Ennek a fő tulajdonsága, hogy jóval kevesebb paramétert használ az eredeti koncepciónál. Ennek köszönhetően mélyebb hálókat lehet készíteni nagyobb konvolúciós filter-ekkel anélkül, hogy

a a paraméterek száma, ezáltal a szükséges számítások kapacitása túlzottan megnövekedne.



4.1. ábra. QuartzNet architektúra.

4.1.3. TensorBoard

Az eredmények kiértékeléséhez és nyomonkövetéséhez a TensorBoard-ot, a TensorFlow egy vizualizációs toolkit-jét használok. Több funkcióval is rendelkezik,

mint például a súlyok időbeni változásának vizualizációja, illetve a tanítóadatok, képek, szöveg vagy hang anyag kijelzése. Számomra a legfontosabb tulajdonsága az egyes metrikák, a loss és a pontosság, WER, értékének változása.

A TensorBoard könnyedén indítható a következő parancs kiadásával: `tensorboard --logdir /lightning --logs`, ahol a logdir kapcsoló adja meg melyik könyvtárban keressen TensorBoard kompatibilis log-okat, event-eket. A szükséges event-ek előállítása könnyedén végezhető a NeMo toolkit segítségével, mely támogatja a megfelelő callback függvények használatát, amik az event-ek batch-enkénti frissítését tesznek lehetővé.

4.2. Angol, majd orosz

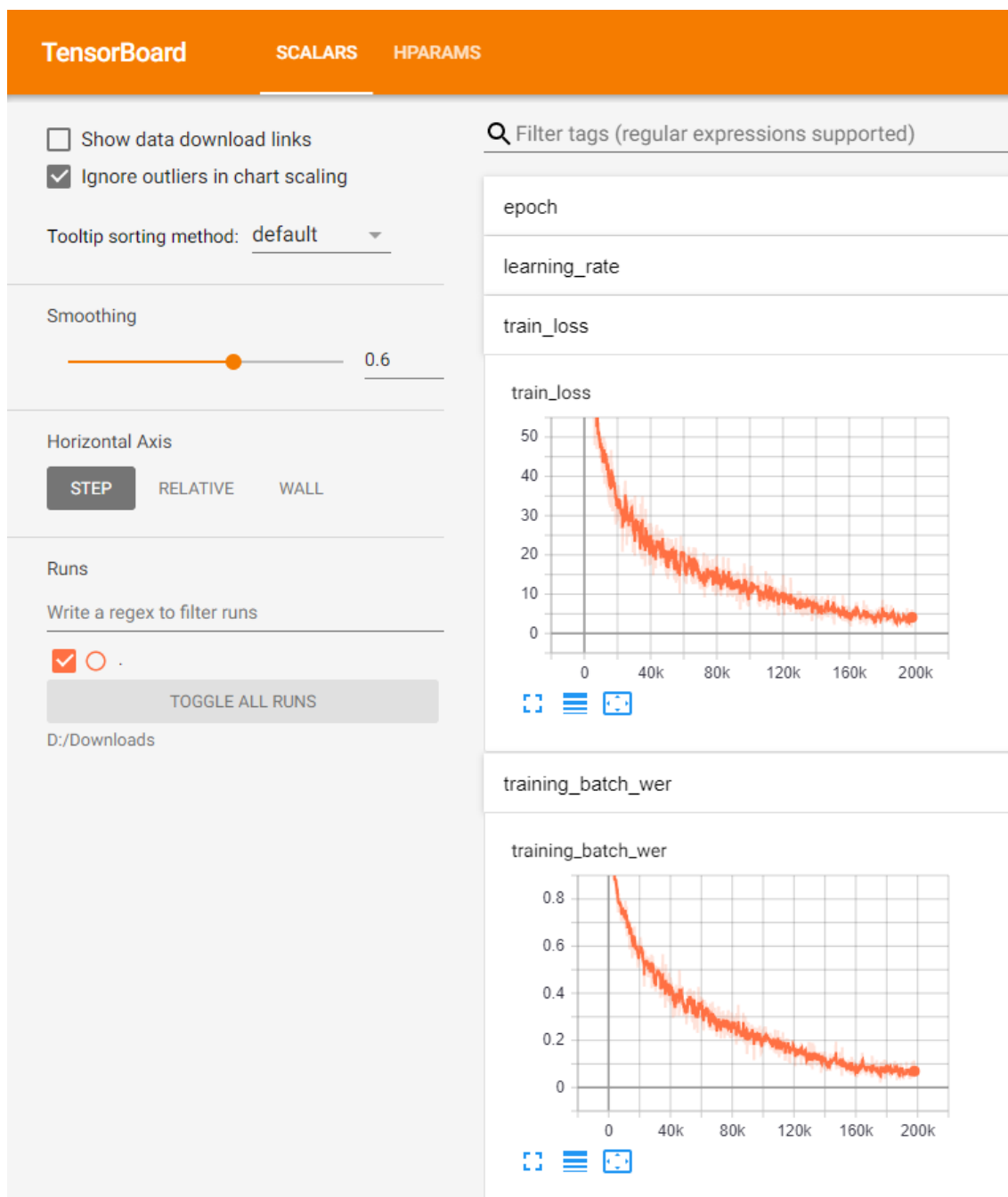
Kezdetben a tesztelést az egyik leggyakoribb nyelven, az angolon, végeztem. Ennek oka főként az, hogy megbizonyosodjak a modellem és a NeMo beállításainak sikerességéről, hogy megfelelő eredményeket tudok elérni elterjedt, kisebb adatbázisokon. Másfelől a modellem hiperparamétereit, mint például a learning rate, optimalizáltam, és az orosz nyelven történő kísérletezésnek a legbiztatóbb beállításokkal tudtam nekiállni.

Az angol nyelvű eredményeket viszonyításként is fel tudtam használni az végső orosz eredményekkel való összehasonlításánál, ahol a nagyságrendileg azonos mennyiségű orosz adatoknak az angoléhoz hasonló eredményeket produkálhattak.

4.2.1. Google Colab

A NeMo-val való ismerkedéshez felhasználtam az Nvidia által írt jupyter notebook-okat, melyeket könnyedén lehet az ingyenes használható Google Colab-ból futtatni. A Colab ingyenes hozzáférést nyújt GPU erőforrásokhoz, ahol egyenesen a böngészőből futtatható a Python kód és az eredményeket akár le is lehet tölteni.

Sajnos a Colab bizonyos órán belül felfüggeszti a munkamenetet, illetve a nagy mennyiségű adatok munkamenetenkénti le- és feltöltése időigényes. Ezért a rövidebb adatbázisokon, mint például az AN4-en, túl nem jelent a tesztelésen és toolkit-tel való ismerkedésen túl megoldást.



4.2. ábra. Lokálisan futtatott TensorBoard.

4.3. Adatbázisok

A megfelelő modell megtalálásához két darab angol nyelvű adatbázist is használtam. Mikor elégedett voltam az eredményekkel és megbizonyosodtam, hogy sikeresen beállítottam a NeMo toolkit-et is, áttértem az orosz nyelvű modell fejlesztésére.

Az adatbázisokon belül szükséges három különböző típusú egymástól független adathalmazt megállapítani. Az egyik a tanító adathalmaz, ezeket a hanganyagokat

közvetlen a háló tanítására használjuk. Fontos egy validációs vagy teszt adathalmaz is, amit tanítás közben használunk kiértékelésre, a tanítás általános pontosságának értékelésére. A harmadik dev adathalmaz pedig azért szükséges, mert a validációs adathalmaz pontosságát igyekszünk javítani, majd amikor ezzel elégedettek vagyunk egy tőle független adathalmazzal vizsgálhatjuk meg a végső pontosságot.

4.3.1. Adatok előfeldolgozása

Magukat a hangfájlokat is meg kell vizsgálni, egységesíteni kell a tanítás előtt. A leggyakrabban használt kiterjesztés a .wav, így én is ennek a használata mellett döntöttem. Szükség esetén az egyes hangfájlokat át kell konvertálni ebbe a formátumba a tanítás, kiértékelés előtt.

A hanganyagok mintavételezése sem elhanyagolható. Míg a túl alacsony mintavételezés minőségi romlást, ezáltal rosszabb eredményeket okozhat, a túl magas mintavételezés lassítja a tanítási folyamatot és akár szintén rosszabb eredményeket produkálhat.

Az adatbázisok esetén megvizsgálandó, hogy hány beszélő hangja található benne. Minél több van benne annál általánosabban alkalmazható jobb eredményekkel.

4.3.2. AN4

Az "AN4" vagy "census" angol nyelvű beszéd adatbázist 1991-ben vették fel a Carnegie Mellon Egyetemen. A különböző beszélők betűzve mondanak olyan adatokat mint születési dátum, telefonszám, név vagy egyéb véletlenszerűen generált, előre definiált kontroll szavakat.

Az adatbázis két különböző részre van osztva, az első a tanítást szolgálja, míg a második része a tesztelést. Ez előbbi 50 percnyi beszédet tartalmaz, míg a tesztelésre szolgáló rész 6 percet. Rövidségéből adódóan gyorsan tanítható és értékelhető, mely ideálissá teszi gyors kalibrálási, beállítási feladatok megoldására.

4.3.3. LibriSpeech

A LibriSpeech egy több száz órát tartalmazó, szintén angol nyelvű, hangos könyv gyűjtemény. Ez az egyik leginkább használt adatbázis, melyet előszeretettel alkalmaznak tudományos, kutatási anyagok eredményeinek ismertetésekor is.

Az elérhető hanganyag fele tiszta, könnyen érthető, míg másik fele zajosabb körülmények közt lett felvéve vagy kevésbé kivehető. Külön tartalmaz tanító, teszt és dev adathalmazokat.

4.3.4. Mozilla Common Voice

A Mozilla Common Voice egy Mozilla által indított projekt. Célja, hogy különböző nyelveken, így oroszul is, a közösség erejét felhasználva gyűjtsön anonim hanganyagokat. Bárki felveheti a saját hangját, előre meghatározott szövegeket felolvasva, illetve érvényesíthet mások által felolvasott szövegeket. A biztonság kedvéért egy szöveget két személynek is jóvá kell hagynia.

Orosz hangból durván 100 órányi áll rendelkezésre, de tüzetesebb vizsgálat után észrevettem, hogy ebből 10-10 óra a teszt és dev adathalmaz mérete, míg 20 óra a tanító adathalmazé. A maradék 60 órából több azért nincs használva, mert megismételt szöveget olvasnak fel benne, vagy rövid hanganyagokat tartalmaz. A tanító adathalmazt sikerült feldúsítsam 45 óra környékére azáltal, hogy belevettem a 100 órányi hangból az összes olyan hangot, melyek nem voltak benne sem a teszt sem a dev adathalmazokban.

4.3.5. További orosz adatbázisok

Mivel a Mozilla Common Voice orosz nyelvű adatbázisa legfeljebb 45 órányi tanítóadattal rendelkezik, míg a LibriSpeech-e mely eredményeihez viszonyítani szeretnénk 100 órán lett tanítva, ezért több tanítóadatot is be kellett vonni. Egy ingyenesen hozzáférhető github-on található projektben több adatbázis is található, többnyire .opus formátumban. Elsősorban a radio2 adatbázissal dolgoztam.

Fontos nem elfelejteni a Mozilla Common Voice és egyéb rádióon található hanganyagok közötti különbséget. Míg előbbi többnyire bediktált, felolvasott

szöveget tartalmaz különböző minőségben és tempóban, utóbbi kötetlenebb, tisztább minőségű beszélgetéseket is tartalmazhat.

4.4. NeMo beállítása

A NeMo egy folyamatosan frissített, alaposan karbantartott toolkit, mely nemrég lépett 1.0.0 verzióra. A munkám során az 1.0.0b verzióval dolgoztam.

4.5. Kísérletek

5. fejezet

Implementáció

5.1. Tanítóadatok előkészítése

A letöltött tanítóadatokat NeMo által értelemzhető formátumúra kellett hozni. Ez magába foglalta a fájlok konváltálását .wav formátumba. Az egyes tanítóadatok más-más formátumban (.opus, .flac, .mp3) voltak eredetileg, illetve eltérő fájlstruktúrákba voltak szervezve.

A konvertáláshoz a fentiek miatt a python os könyvtárának walk módszerét használtam mellyel egy mappát rekúzívan be lehet járni. A konvertáláshoz az ffmpeg szoftvert használtam, mivel segítségével több formátum is könnyedén konvertálható .wav formátumba.

A fájlok átalakításán kívül szükséges volt az adatok .json fájljainak elkészítése, mely megmondja, hogy melyik hangfájl hol található, milyen hosszú és mi hangzik el rajta. A NeMo-nak ezután csupán az egyes manifest-eket, .json fájlokat, kellett megadni, azzal a kiegészítéssel, hogy melyiket kívánjuk tanító vagy teszt adathalmaznak használni, és a további előfeldolgozási lépéseket már automatikusan elvégezte. Természetesen több információ tárolását is támogatja a NeMo, de ezek az adatok elengedhetetlenek.

5.2. Modellek kimentése és betöltése

A tanított modelleket el kell menteni későbbi használat végett. Két módszert is alkalmaztam.

5.3. Kalibráció angol nyelv segítségével

Első lépésként egy kisebb adatbázison, az AN4-en teszteltem a NeMo keretrendszert, a Google Colab segítségével. Az alap paraméterekkel és konfigurációval az elért eredmények elmaradtak a referencia eredményekéhez képest. Az AN4-es tanítás során QuartzNet 5x1-es architektúrájával dolgoztam a kevés mennyiségű adat végett.

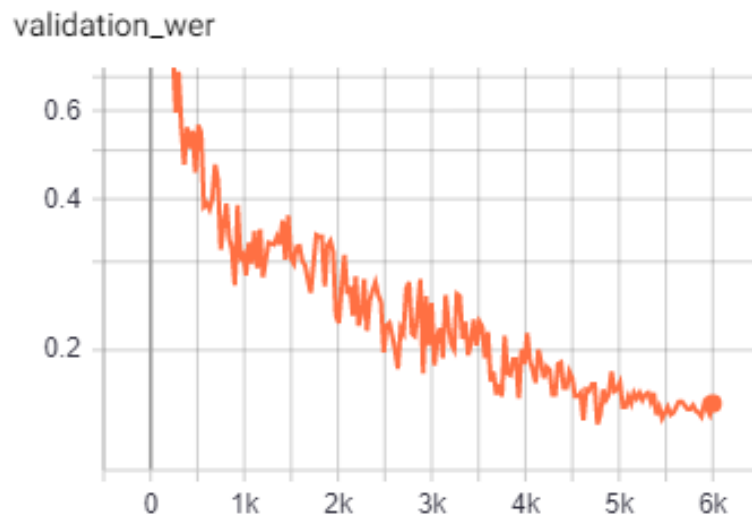
A pontosság növelése érdekében az egy gyakran használt módszer az epoch szám növelése. Egy epoch reprezentálja az összes tanítóadaton való kiértékelést és a súlyok javítását a hiba tükrében. Magas epoch szám jobb eredményeket produkál, de vigyázni kell, mert túlzott epoch szám esetében megjelenhet az úgy nevezett túltanítás jelenség. Ez annyit tesz, hogy a túlzottan is megtanulja a modell a tanítóadatokat, azokra nagyon jó eredményt ad, míg általánosan egyre rosszabbul teljesít.

Egy másik fontos paraméter aminek a módosításával növelni lehet az elért pontosságot a learning rate. A learning rate felel a hiba nyomán felmerült tanítás, azaz súlyok korrekciójának mértékéért. Túl nagy lépések, javítások, esetén a loss értéke, amit csökkenteni szeretnénk, túl nagy ugrásokat végez, akár a rossz irányba. Túl alacsony érték esetén lassan éri el a loss a minimum pontját, legyen az globális vagy lokális. Szintén nem kívánt eredmény az alacsony learning rate esetén, hogy a loss értéke ideje korán beragad egy lokális minimum értékben, ami egy nagyobb lépéssel áthidalható lenne.

A fentiek tükrében növeltem az epoch számot és a learning rate-et, 200-ra és 0.02-re. Sikerült egy optimálisabb eredményt elérjek, így a felhasznált paraméterekkel tovább tudtam indulni egy nagyobb adatbázison való tesztelésre.

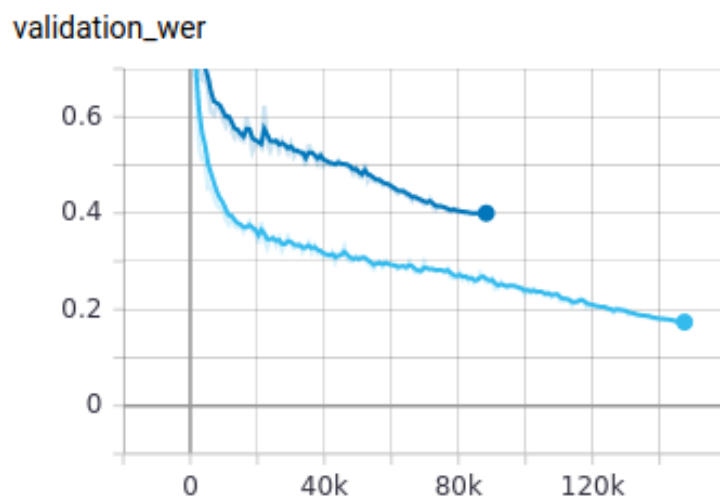
Arról, hogy a beállításaim tényleg megfelelőek a LibriSpeech 100 órás adathalmazán bizonyosodtam meg. Azért nem ezzel kezdtem, mert 100 órányi hanganyag tanítása jóval tovább tart, így minél kevesebbszer akartam végigfuttatni a tanítást az optimalizálás érdekében.

A LibriSpeech-hez egy nagyobb méretű architektúrát használtam. A mélyebb hálók jellemzően pontosabb eredményeket képesek elérni a paraméterszám növelése mellett. Összevetettem az eredeti, 5x1-es modellt a nagyobb, 12x1-es QuartzNet



5.1. ábra. AN4 adatbázis validációs adathalmazán elért eredmények.

modellel és a korábban optimálisnak vélt epoch számmal és egy magasabb learning rate-el. A különbség az 5.2-es ábrán látható.



5.2. ábra. LibriSpeech eredmények QuartzNet 5x1 (sötétkék) és 12x1 (világoskék) architektúrákon.

5.4. Orosz nyelvű hálók

5.4.1. Szükséges módosítások

5.4.2. NeMo config fájl

5.4.3. Transfer learning

6. fejezet

Összefoglalás

7. fejezet

L^AT_EX-eszközök

7.1. A szerkesztéshez használatos eszközök

Ez a sablon TeXstudio 2.8.8 szerkesztővel készült. A TeXstudio egy platformfüggetlen, Windows, Linux és Mac OS alatt is elérhető L^AT_EX-szerkesztőprogram számtalan hasznos szolgáltatással (7.1. ábra). A szoftver ingyenesen letölthető¹.

A TeXstudio telepítése után érdemes még letölteni a magyar nyelvű helyesírásellenőrző-szótárakat hozzá. A TeXstudio az OpenOffice-hoz használatos formátumot tudja kezelni. A TeXstudio beállításainál a **General** fülön a **Dictionaries** résznél tudjuk megadni, hogy melyik szótárat használja.

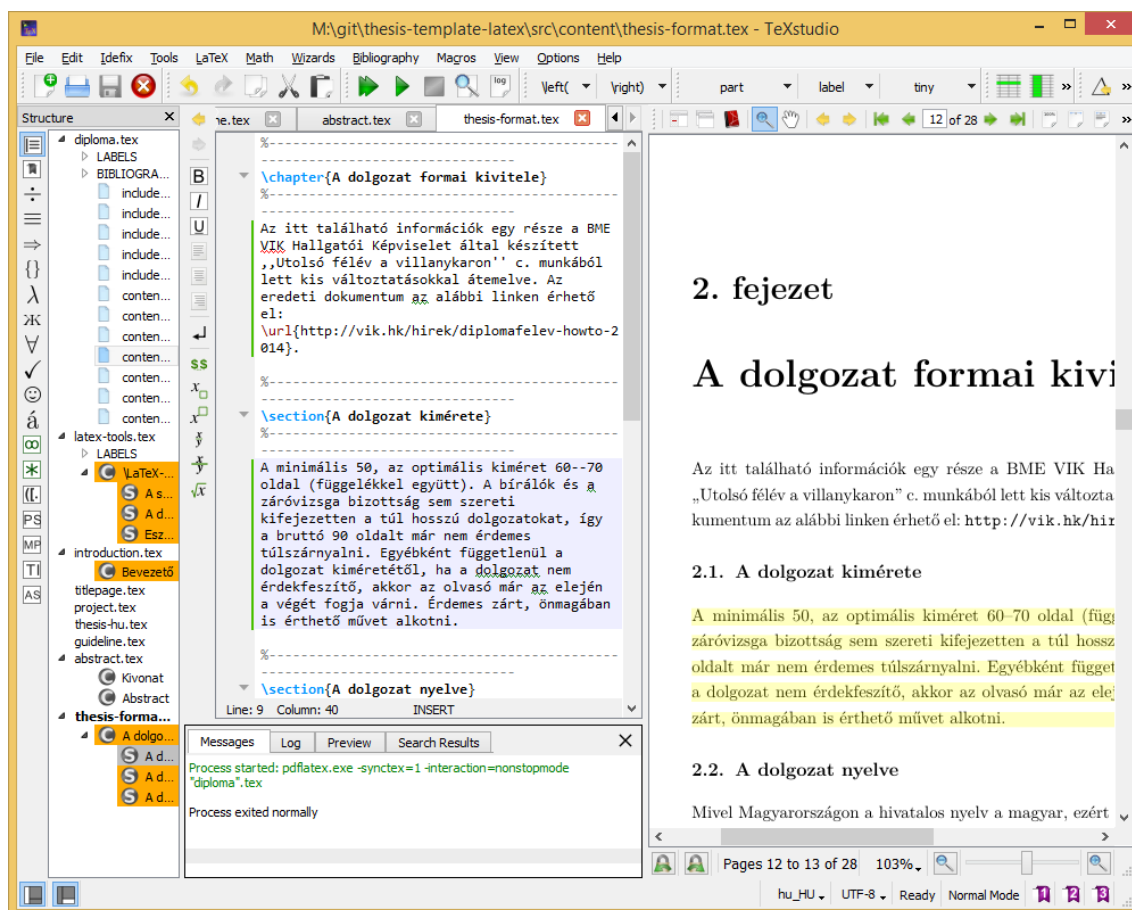
Egy másik használható Windows alapú szerkesztőprogram a LEd² (LaTeX Editor), a TeXstudio azonban stabilabb, gyorsabb, és jobban használható.

7.2. A dokumentum lefordítása Windows alatt

A TeXstudio és a LEd kizárólag szerkesztőprogram (bár az utóbbiban DVI-nézegető is van), így a dokumentum fordításához szükséges eszközöket nem tartalmazza. Windows alatt alapvetően két lehetőség közül érdemes választani: MiKTeX (<http://miktex.org/>) és TeX Live (<http://www.tug.org/texlive/>) programcsomag. Az utóbbi működik Mac OS X, GNU/Linux alatt és Unix-

¹A TeXstudio hivatalos oldala: <http://texstudio.sourceforge.net/>

²A LEd hivatalos oldala: <http://www.latexeditor.org/>



7.1. ábra. A TeXstudio L^AT_EX-szerkesztő.

származékokon is. A MiKTeX egy alapsomag telepítése után mindig letölti a használt funkciókhoz szükséges, de lokálisan hiányzó T_EX-csomagokat, míg a TeX Live DVD ISO verzióban férhető hozzá. Ez a dokumentum TeX Live 2008 programcsomag segítségével fordult, amelynek DVD ISO verziója a megadott oldalról letölthető. A sablon lefordításához a disztribúcióban szereplő `magyar.ldf` fájlt a <http://www.math.bme.hu/latex/> változatra kell cserélni, vagy az utóbbi változatot be kell másolni a projekt-könyvtárba (ahogy ezt meg is tettük a sablonban) különben anomáliák tapasztalhatók a dokumentumban (pl. az ábra- és táblázat-aláírások formátuma nem a beállított lesz, vagy bizonyos oldalakon megjelenik alapértelmezésben egy fejléc). A TeX Live 2008-at még nem kell külön telepíteni a gépre, elegendő DVD-ről (vagy az ISO fájlból közvetlenül, pl. DaemonTools-szal) használni.

Ha a MiKTeX csomagot használjuk, akkor parancssorból a következő módon tudjuk újrafordítani a teljes dokumentumot:

```
$ texify -p thesis.tex
```

A `texify` parancs a MiKTeX programcsomag `miktex/bin` alkönyvtárában található. A parancs gondoskodik arról, hogy a szükséges lépéseket (fordítás, hivatkozások generálása stb.) a megfelelő sorrendben elvégezze. A `-p` kapcsoló hatására PDF-et generál. A fordítást és az ideiglenes fájlok törlését elvégezhetjük a sablonhoz mellékelt `manual_build.bat` szkript segítségével is.

A T_EX-eszközöket tartalmazó programcsomag binárisainak elérési útját gyakran be kell állítani a szerkesztőprogramban, például TeXstudio esetén legegyszerűbben az `Options / Configure TeXstudio... / Commands` menüponttal előhívott dialógusablakban tehetjük ezt meg.

A PDF-~~L~~T_EX használata esetén a generált dokumentum közvetlenül PDF-formátumban áll rendelkezésre. Amennyiben a PDF-fájl egy PDF-nézőben (pl. Adobe Acrobat Reader vagy Foxit PDF Reader) meg van nyitva, akkor a fájlleíró a PDF-néző program tipikusan lefoglalja. Ilyen esetben a dokumentum újrafordítása hibaüzenettel kilép. Ha bezárjuk és újra megnyitjuk a PDF dokumentumot, akkor pedig a PDF-nézők többsége az első oldalon nyitja meg a dokumentumot, nem a legutóbb olvasott oldalon. Ezzel szemben például az egyszerű és ingyenes [Sumatra PDF](#) nevű program képes arra, hogy a megnyitott dokumentum megváltozását detektálja, és frissítse a nézetet az aktuális oldal megtartásával.

7.3. Eszközök Linuxhoz

Linux operációs rendszer alatt is rengeteg szerkesztőprogram van, pl. a KDE alapú Kile jól használható. Ez ingyenesen letölthető, vagy éppenséggel az adott Linux-disztribúció eleve tartalmazza, ahogyan a dokumentum fordításához szükséges csomagokat is. Az Ubuntu Linux disztribúciók alatt például legtöbbször a `texlive-*` csomagok telepítésével használhatók a L^AT_EX-eszközök. A jelen sablon fordításához szükséges csomagok (kb. 0,5 GB) az alábbi paranccsal telepíthetők:

```
$ sudo apt-get install texlive-latex-extra texlive-fonts-extra texlive-fonts-recommended  
texlive-xetex texlive-science
```

Amennyiben egy újabb csomag hozzáadása után hiányzó fájlra utaló hibát kapunk a fordítótól, telepítenünk kell az azt tartalmazó TeX Live csomagot. Ha pl. a **bibentry** csomagot szeretnénk használni, futtassuk az alábbi parancsot:

```
$ apt-cache search bibentry
texlive-luatex - TeX Live: LuaTeX packages
```

Majd telepítsük fel a megfelelő TeX Live csomagot, jelen esetben a `texlive-lualatex-et`. (Egy LaTeX csomag több TeX Live csomagban is szerepelhet.)

Ha gyakran szerkesztünk más \LaTeX dokumentumokat is, kényelmes és biztos megoldás a teljes TeX Live disztribúció telepítése, ez azonban kb. 4 GB helyet igényel.

```
sudo apt-get install texlive-full
```

8. fejezet

A dolgozat formai kivitele

Az itt található információk egy része a BME VIK Hallgatói Képviselőlet által készített „Utolsó félév a villanykaron” c. munkából lett kis változtatásokkal átemelve. Az eredeti dokumentum az alábbi linken érhető el: <http://vik.hk/hirek/diplomafelev-howto-2015>.

8.1. A dolgozat kimérete

Szakdolgozat esetében minimum 30, 45 körüli ajánlott oldalszám lehet az iránymutató. De mindenképp érdemes rákérdezni a konzulensnél is az elvárásokra, mert tanszékenként változóak lehetnek az elvárások.

Mesterképzésen a Diplomatervezés 1 esetében a beszámoló még inkább az Önálló laboratóriumi beszámolóhoz hasonlít, tanszékenként eltérő formai követelményekkel, – egy legalább 30 oldal körüli dolgozat az elvárt – és az elmúlt fél éves munkáról szól. De egyben célszerű, ha ez a végleges diplomaterv alapja is. (A végleges 60-90 oldal körülbelül a hasznos részre nézve)

8.2. A dolgozat nyelve

Mivel Magyarországon a hivatalos nyelv a magyar, ezért alapértelmezésben magyarul kell megírni a dolgozatot. Aki külföldi posztgraduális képzésben akar részt venni, nemzetközi szintű tudományos kutatást szeretne végezni, vagy multinacionális cégnél akar elhelyezkedni, annak célszerű angolul megírnia diplomadolgozatát. Mielőtt a

hallgató az angol nyelvű verzió mellett dönt, erősen ajánlott mérlegelni, hogy ez mennyi többletmunkát fog a hallgatónak jelenteni fogalmazás és nyelvhelyesség terén, valamint – nem utolsó sorban – hogy ez mennyi többletmunkát fog jelenteni a konzulens illetve bíráló számára. Egy nehezen olvasható, netalán érthetetlen szöveg teher minden játékos számára.

8.3. A dokumentum nyomdatechnikai kivitele

A dolgozatot A4-es fehér lapra nyomtatva, 2,5 centiméteres margóval (+1 cm kötésbeni), 11–12 pontos betűmérettel, talpas betűtípussal és másfeles sorközzel célszerű elkészíteni.

Annak érdekében, hogy a dolgozat külsőleg is igényes munka benyomását keltse, érdemes figyelni az alapvető tipográfiai szabályok betartására [?].

9. fejezet

A L^AT_EX-sablon használata

Ebben a fejezetben röviden, implicit módon bemutatjuk a sablon használatának módját, ami azt jelenti, hogy sablon használata ennek a dokumentumnak a forráskódját tanulmányozva válik teljesen világossá. Amennyiben a szoftverkeretrendszer telepítve van, a sablon alkalmazása és a dolgozat szerkesztése L^AT_EX-ben a sablon segítségével tapasztalataink szerint jóval hatékonyabb, mint egy WYSWYG (*What You See is What You Get*) típusú szövegszerkesztő esetén (pl. Microsoft Word, OpenOffice).

9.1. Címkék és hivatkozások

A L^AT_EX dokumentumban címkéket (`\label`) rendelhetünk ábrákhoz, táblázatokhoz, fejezetekhez, listákhoz, képletekhez stb. Ezekre a dokumentum bármely részében hivatkozhatunk, a hivatkozások automatikusan feloldásra kerülnek.

A sablonban makrókat definiáltunk a hivatkozások megkönnyítéséhez. Ennek megfelelően minden ábra (*figure*) címkéje `fig:` kulcsszóval kezdődik, míg minden táblázat (*table*), képlet (*equation*), fejezet (*section*) és lista (*listing*) rendre a `tab:`, `eq:`, `sec:` és `lst:` kulcsszóval kezdődik, és a kulcsszavak után tetszőlegesen választott címke használható. Ha ezt a konvenciót betartjuk, akkor az előbbi objektumok számára rendre a `\figref`, `\tabref`, `\eqref`, `\sectref` és `\listref` makrókkal hivatkozhatunk. A makrók paramétere a címke, amelyre hivatkozunk (a kulcsszó nélkül). Az összes említett hivatkozástípus, beleértve az `\url` kulcsszóval

bevezetett web-hivatkozásokat is a `hyperref`¹ csomagnak köszönhetően aktívak a legtöbb PDF-nézegetőben, rájuk kattintva a dokumentum megfelelő oldalára ugrik a PDF-néző vagy a megfelelő linket megnyitja az alapértelmezett böngészővel. A `hyperref` csomag a kimeneti PDF-dokumentumba könyvjelzőket is készít a tartalomjegyzékből. Ez egy szintén aktív tartalomjegyzék, amelynek elemeire kattintva a nézegető behozza a kiválasztott fejezetet.

9.2. Ábrák és táblázatok

Használjunk vektorgrafikus ábrákat, ha van rá módunk. PDFLaTeX használata esetén PDF formátumú ábrákat lehet beilleszteni könnyen, az EPS (PostScript) vektorgrafikus képformátum beillesztését a PDFLaTeX közvetlenül nem támogatja (de lehet konvertálni, lásd később). Ha vektorgrafikus formában nem áll rendelkezésünkre az ábra, akkor a veszteségmentes PNG, valamint a veszteséges JPEG formátumban érdemes elmenteni. Figyeljünk arra, hogy ilyenkor a képek felbontása elég nagy legyen ahhoz, hogy nyomtatásban is megfelelő minőséget nyújtson (legalább 300 dpi javasolt). A dokumentumban felhasznált képfájlokat a dokumentum forrása mellett érdemes tartani, archiválni, mivel ezek hiányában a dokumentum nem fordul újra. Ha lehet, a vektorgrafikus képeket vektorgrafikus formátumban is érdemes elmenteni az újrafelhasználhatóság (az átszerkeszthetőség) érdekében.

Kapcsolási rajzok legtöbbször kimásolhatók egy vektorgrafikus programba (pl. CorelDraw) és onnan nagyobb felbontással raszterizálva kimenthetők PNG formátumban. Ugyanakkor kiváló ábrák készíthetők Microsoft Visio vagy hasonló program használatával is: Visio-ból az ábrák közvetlenül PDF-be is menthetők.

Lehetőségeink Matlab ábrák esetén:

- Képernyőlopás (*screenshot*) is elfogadható minőségű lehet a dokumentumban, de általában jobb felbontást is el lehet érni más módszerrel.

¹Segítségével a dokumentumban megjelenő hivatkozások nem csak dinamikussá válnak, de színezhetőek is, bővebbet erről a csomag dokumentációjában találunk. Ez egyúttal egy példa lábjegyzet írására.

- A Matlab ábrát a **File/Save As** opcióval lementhetjük PNG formátumban (ugyanaz itt is érvényes, mint korábban, ezért nem javasoljuk).
- A Matlab ábrát az **Edit/Copy figure** opcióval kimásolhatjuk egy vektorgrafikus programba is és onnan nagyobb felbontással raszterizálva kimenthetjük PNG formátumban (nem javasolt).
- Javasolt megoldás: az ábrát a **File/Save As** opcióval EPS *vektorgrafikus* formátumban elmentjük, PDF-be konvertálva beillesztjük a dolgozatba.

Az EPS kép az **epstopdf** programmal² konvertálható PDF formátumba. Célszerű egy batch-fájlt készíteni az összes EPS ábra lefordítására az alábbi módon (ez Windows alatt működik).

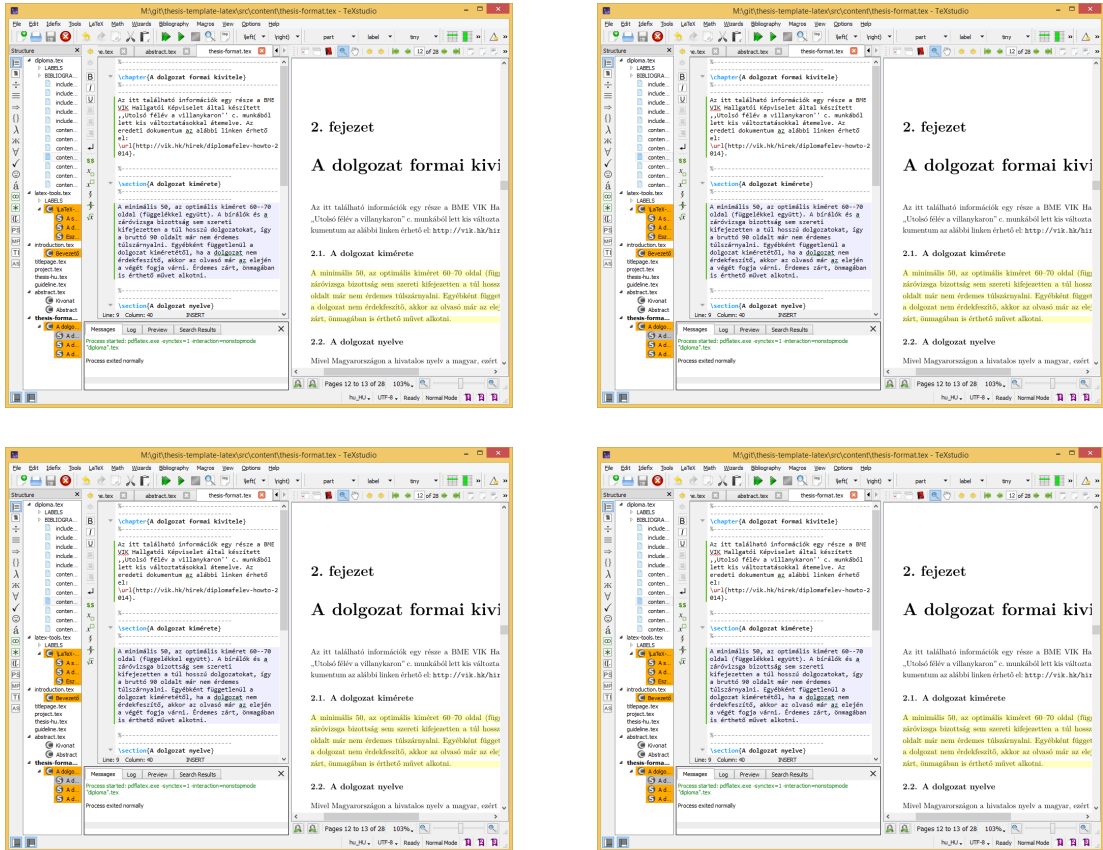
```
@echo off
for %%j in (*.eps) do (
    echo converting file "%%j"
    epstopdf "%%j"
)
echo done .
```

Egy ilyen parancsfájlt (**convert.cmd**) elhelyeztük a sablon **figures\eps** könyvtárába, így a felhasználónak csak annyi a dolga, hogy a **figures\eps** könyvtárba kimentti az EPS formátumú vektorgrafikus képet, majd lefuttatja a **convert.cmd** parancsfájlt, ami PDF-be konvertálja az EPS fájlt.

Ezek után a PDF-ábrát ugyanúgy lehet a dokumentumba beilleszteni, mint a PNG-t vagy a JPEG-et. A megoldás előnye, hogy a lefordított dokumentumban is vektorgrafikusan tárolódik az ábra, így a mérete jóval kisebb, mintha raszterizáltuk volna beillesztés előtt. Ez a módszer minden – az EPS formátumot ismerő – vektorgrafikus program (pl. CorelDraw) esetén is használható.

A képek beillesztésére a 7. fejezetben mutattunk be példát (7.1. ábra). Az előző mondatban egyúttal az automatikusan feloldódó ábrahivatkozásra is láthatunk példát. Több képfájl is beilleszthetünk egyetlen ábrába. Az egyes képek közötti horizontális és vertikális margót metrikusan szabályozhatjuk (9.1. ábra). Az ábrák elhelyezését számtalan tipográfiai szabály egyidejű teljesítésével a fordító maga végzi, a dokumentum írója csak preferenciáit jelezheti a fordító felé (olykor ez bosszúságot is okozhat, ilyenkor pl. a kép méretével lehet játszani).

²a korábban említett L^AT_EX-disztribúciókban megtalálható



9.1. ábra. Több képfájl beillesztése esetén térközőket is érdemes használni.

A táblázatok használatára a 9.1 táblázat mutat példát. A táblázatok formázásához hasznos tanácsokat találunk a `booktabs` csomag dokumentációjában.

Órajel	Frekvencia	Cél pin
CLKA	100 MHz	FPGA CLK0
CLKB	48 MHz	FPGA CLK1
CLKC	20 MHz	Processzor
CLKD	25 MHz	Ethernet chip
CLKE	72 MHz	FPGA CLK2
XBUF	20 MHz	FPGA CLK3

9.1. táblázat. Az órajel-generátor chip órajel-kimenetei.

9.3. Felsorolások és listák

Számozatlan felsorolásra mutat példát a jelenlegi bekezdés:

- *első bajusz*: ide lehetne írni az első elem kifejtését,

- *második bajusz*: ide lehetne írni a második elem kifejtését,
- *ez meg egy szakáll*: ide lehetne írni a harmadik elem kifejtését.

Számozott felsorolást is készíthetünk az alábbi módon:

1. *első bajusz*: ide lehetne írni az első elem kifejtését, és ez a kifejtés így néz ki, ha több sorosra sikeredik,
2. *második bajusz*: ide lehetne írni a második elem kifejtését,
3. *ez meg egy szakáll*: ide lehetne írni a harmadik elem kifejtését.

A felsorolásokban sorok végén vessző, az utolsó sor végén pedig pont a szokásos írásjel. Ez alól kivételt képezhet, ha az egyes elemek több teljes mondatot tartalmaznak.

Listákban a dolgozat szövegétől elkülönítendő kódrészleteket, programsorokat, pszeudo-kódokat jeleníthetünk meg (9.1. kódrészlet).

```
\begin{enumerate}
  \item \emph{első bajusz:} ide lehetne írni az első elem kifejtését,
    és ez a kifejtés így néz ki, ha több sorosra sikeredik,
  \item \emph{második bajusz:} ide lehetne írni a második elem kifejtését,
  \item \emph{ez meg egy szakáll:} ide lehetne írni a harmadik elem kifejtését.
\end{enumerate}
```

9.1. lista. A fenti számozott felsorolás L^AT_EX-forráskódja

A lista keretét, háttérszínét, egész stílusát megválaszthatjuk. Ráadásul különféle programnyelveket és a nyelveken belül kulcsszavakat is definiálhatunk, ha szükséges. Erről bővebbet a `listings` csomag hivatalos leírásában találhatunk.

9.4. Képletek

Ha egy formula nem túlságosan hosszú, és nem akarjuk hivatkozni a szövegből, mint például a $e^{i\pi} + 1 = 0$ képlet, *szövegközi képletként* szokás leírni. Csak, hogy másik példát is lássunk, az $U_i = -d\Phi/dt$ Faraday-törvény a $\text{rot } E = -\frac{dB}{dt}$ differenciális alakban adott Maxwell-egyenlet felületre vett integráljából vezethető le. Látható, hogy a L^AT_EX-fordító a sorközöket betartja, így a szöveg szedése esztétikus marad szövegközi képletek használata esetén is.

Képletek esetén az általános konvenció, hogy a kisbetűk skalárt, a kis félkövér betűk (**v**) oszlopvektort – és ennek megfelelően \mathbf{v}^T sorvektort – a kapitális félkövér betűk (**V**) mátrixot jelölnek. Ha ettől el szeretnénk térni, akkor az alkalmazni kívánt jelölésmódot célszerű külön alfejezetben definiálni. Ennek megfelelően, amennyiben **y** jelöli a mérések vektorát, ϑ a paraméterek vektorát és $\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{X}\vartheta$ a paraméterekben lineáris modellt, akkor a *Least-Squares* értelemben optimális paraméterbecslő $\hat{\vartheta}_{LS} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}$ lesz.

Emellett kiemelt, sorszámozott képleteket is megadhatunk, ennél az `equation` és a `eqnarray` környezetek helyett a korszerűbb `align` környezet alkalmazását javasoljuk (több okból, különféle problémák elkerülése végett, amelyekre most nem térünk ki). Tehát

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}, \quad (9.1)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}, \quad (9.2)$$

ahol **x** az állapotvektor, **y** a mérések vektora és **A**, **B** és **C** a rendszert leíró paramétermátrixok. Figyeljük meg, hogy a két egyenletben az egyenlőségjelek egymáshoz igazítva jelennek meg, mivel a mindkettőt az `&` karakter előzi meg a kódban. Lehetőség van számozatlan kiemelt képlet használatára is, például

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u},$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}.$$

Mátrixok felírására az $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ inhomogén lineáris egyenlet részletes kifejtésével mutatunk példát:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}. \quad (9.3)$$

A `\frac` utasítás hatékonyságát egy általános másodfokú tag átviteli függvényén keresztül mutatjuk be, azaz

$$W(s) = \frac{A}{1 + 2T\xi s + s^2 T^2}. \quad (9.4)$$

A matematikai mód minden szimbólumának és képességének a bemutatására természetesen itt nincs lehetőség, de gyors referenciaként hatékonyan használhatók a következő linkek:

http://www.artofproblemsolving.com/LaTeX/AoPS_L_GuideSym.php,
<http://www.ctan.org/tex-archive/info/symbols/comprehensive/symbols-a4.pdf>,
<ftp://ftp.ams.org/pub/tex/doc/amsmath/short-math-guide.pdf>.

Ez pedig itt egy magyarázat, hogy miért érdemes `align` környezetet használni:

<http://texblog.net/latex-archive/maths/eqnarray-align-environment/>.

9.5. Irodalmi hivatkozások

Egy \LaTeX dokumentumban az irodalmi hivatkozások definíciójának két módja van. Az egyik a `\thebibliography` környezet használata a dokumentum végén, az `\end{document}` lezárás előtt.

```
\begin{thebibliography}{9}

\bibitem[Lamport94] Leslie Lamport, \emph{\LaTeX: A Document Preparation System}.
Addison Wesley, Massachusetts, 2nd Edition, 1994.

\end{thebibliography}
```

Ezek után a dokumentumban a `\cite{Lamport94}` utasítással hivatkozhatunk a forrásra. A fenti megadás viszonylag kötetlen, a szerző maga formázza az irodalomjegyzéket (ami gyakran inkonzisztens eredményhez vezet).

Egy sokkal professzionálisabb módszer a BiBTeX használata, ezért ez a sablon is ezt támogatja. Ebben az esetben egy külön szöveges adatbázisban definiáljuk a forrásmunkákat, és egy külön stílusfájl határozza meg az irodalomjegyzék kinézetét. Ez, összhangban azzal, hogy külön formátumkonvenció határozza meg a folyóirat-, a könyv-, a konferenciaticik- stb. hivatkozások kinézetét az

irodalomjegyzékben (a sablon használata esetén ezzel nem is kell foglalkoznia a hallgatónak, de az eredményt célszerű ellenőrizni). felhasznált hivatkozások adatbázisa egy `.bib` kiterjesztésű szöveges fájl, amelynek szerkezetét a A 9.2 kódrészlet demonstrálja. A forrásmunkák bevitelkor a sor végi vesszők külön figyelmet igényelnek, mert hiányuk a BiBTeX-fordító hibaüzenetét eredményezi. A forrásmunkákat típus szerinti kulcsszó vezeti be (`@book` könyv, `@inproceedings` konferenciakiadványban megjelent cikk, `@article` folyóiratban megjelent cikk, `@techreport` valamelyik egyetem gondozásában megjelent műszaki tanulmány, `@manual` műszaki dokumentáció esetén stb.). Nemcsak a megjelenés stílusa, de a kötelezően megadandó mezők is típusról-típusra változnak. Egy jól használható referencia a <http://en.wikipedia.org/wiki/BibTeX> oldalon található.

```
@book{Wettl04,
  author    = {Ferenc Wettl and Gyula Mayer and Péter Szabó},
  publisher = {Panem Könyvkiadó},
  title     = {\LaTeX-kézikönyv},
  year      = {2004},
}

@article{Candy86,
  author      = {James C. Candy},
  journaltitle = {{IEEE} Trans.\ on Communications},
  month       = {01},
  note        = {\doi{10.1109/TCOM.1986.1096432}},
  number      = {1},
  pages       = {72--76},
  title       = {Decimation for Sigma Delta Modulation},
  volume      = {34},
  year        = {1986},
}

@inproceedings{Lee87,
  author      = {Wai L. Lee and Charles G. Sodini},
  booktitle   = {Proc.\ of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems},
  location    = {Philadelphia, PA, USA},
  month       = {05-4--7},
  pages       = {459--462},
  title       = {A Topology for Higher Order Interpolative Coders},
  vol         = {2},
  year        = {1987},
}

@thesis{KissPhD,
  author      = {Peter Kiss},
```

```

institution = {Technical University of Timi\c{s}oara, Romania},
month       = {04},
title       = {Adaptive Digital Compensation of Analog Circuit Imperfections for Cascaded Delta-
               Sigma Analog-to-Digital Converters},
type        = {phdthesis},
year        = {2000},
}

@manual{Schreier00,
  author      = {Richard Schreier},
  month       = {01},
  note        = {\url{http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/}},
  organization = {Oregon State University},
  title       = {The Delta-Sigma Toolbox v5.2},
  year        = {2000},
}

@misc{DipPortal,
  author      = {{Budapesti \u00dcszaki \u0026; Gazdas\u00e1gtudom\u00e1nyi Egyetem Villamosm\u00e9rn\u00f6ki \u0026; Informatikai
                 Kar}},
  howpublished = {\url{http://diplomaterv.vik.bme.hu/}},
  title       = {Diplomaterv port\u00e1l (2011. febru\u00e1r 26.)},
}

@incollection{Mkrtychev:1997,
  author      = {Mkrtychev, Alexey},
  booktitle   = {Logical Foundations of Computer Science},
  doi         = {10.1007/3-540-63045-7_27},
  editor      = {Adian, Sergei and Nerode, Anil},
  isbn        = {978-3-540-63045-6},
  pages       = {266-275},
  publisher    = {Springer Berlin Heidelberg},
  series      = {Lecture Notes in Computer Science},
  title       = {Models for the logic of proofs},
  url         = {http://dx.doi.org/10.1007/3-540-63045-7_27},
  volume      = {1234},
  year        = {1997},
}

```

9.2. lista. P\u00e9lda sz\u00f6veges irodalomjegyz\u00e9k-adatb\u00e1zisra BibT_EX használata esetén.

A st\u00edlusf\u00e1jl egy .sty kiterjeszt\u00e9s\u00fc f\u00e1jl, de ezzel l\u00e9nyeg\u00e9ben nem kell foglalkozni, mert vannak be\u00e9p\u00edtett st\u00edlusok, amelyek j\u00f3l használhat\u00f3k. Ez a sablon a BiB_T_EX-et használja, a hozz\u00e1 tartoz\u00f3 adatb\u00e1ziszf\u00e1jl a mybib.bib f\u00e1jl. Megfigyelhet\u0151, hogy az irodalomjegyz\u00e9ket a dokumentum v\u00e9g\u00e9re (a \end{document} utas\u00edt\u00e1s el\u00e9) beillesztett \bibliography{mybib} utas\u00edt\u00e1ssal hozhatjuk l\u00e9tre, a st\u00edlus\u00e1t pedig

ugyanitt a `\bibliographystyle{plain}` utasítással adhatjuk meg. Ebben az esetben a `plain` előre definiált stílust használjuk (a sablonban is ezt állítottuk be). A `plain` stíluson kívül természetesen számtalan más előre definiált stílus is létezik. Mivel a `.bib` adatbázisban ezeket megadtuk, a BiBTeX-fordító is meg tudja különböztetni a szerzőt a címtől és a kiadótól, és ez alapján automatikusan generálódik az irodalomjegyzék a stílusfájl által meghatározott stílusban.

Az egyes forrásmunkákra a szövegből továbbra is a `\cite` paranccsal tudunk hivatkozni, így a 9.2. kódrészlet esetén a hivatkozások rendre `\cite{Wettl04}`, `\cite{Candy86}`, `\cite{Lee87}`, `\cite{KissPhD}`, `\cite{Schreirer00}`, `\cite{Mkrtychev:1997}` és `\cite{DipPortal}`. Az egyes forrásmunkák sorszáma az irodalomjegyzék bővítésekor változhat. Amennyiben az aktuális számhoz illeszkedő névelőt szeretnénk használni, használjuk az `\acite{}` parancsot.

Az irodalomjegyzékben alapértelmezésben csak azok a forrásmunkák jelennek meg, amelyekre található hivatkozás a szövegben, és ez így alapvetően helyes is, hiszen olyan forrásmunkákat nem illik az irodalomjegyzékbe írni, amelyekre nincs hivatkozás.

Mivel a fordítási folyamat során több lépésben oldódnak fel a szimbólumok, ezért gyakran többször is le kell fordítani a dokumentumot. Ilyenkor ez első 1-2 fordítás esetleg szimbólum-feloldásra vonatkozó figyelmeztető üzenettel zárul. Ha hibaüzenettel zárul bármelyik fordítás, akkor nincs értelme megismételni, hanem a hibát kell megkeresni. A `.bib` fájl megváltoztatáskor sokszor nincs hatása a változtatásnak azonnal, mivel nem mindig fut újra a BibTeX fordító. Ezért célszerű a változtatás után azt manuálisan is lefuttatni (TeXstudio esetén Tools/Bibliography).

Hogy a szövegbe ágyazott hivatkozások kinézetét demonstráljuk, itt most sorban meghivatkozzuk a `[?]`, `[?]`, `[?]`, `[?]`, `[?]` és a `[?]`³ forrásmunkát, valamint a `[?]` weboldalt.

Megjegyzendő, hogy az ékezetes magyar betűket is tartalmazó `.bib` fájl az `inputenc` csomaggal betöltött `latin2` betűkészlet miatt fordítható. Ugyanez a `.bib` fájl hibaüzenettel fordul egy olyan dokumentumban, ami nem tartalmazza a

³Informatikai témában gyakran hivatkozunk cikket a Springer LNCS valamely kötetéből, ez a hivatkozás erre mutat egy helyes példát.

`\usepackage[latin2]{inputenc}` sort. Speciális igény esetén az irodalmi adatbázis általánosabb érvényűvé tehető, ha az ékezetes betűket speciális latex karakterekkel helyettesítjük a `.bib` fájlban, pl. `á` helyett `\'a`-t vagy `ő` helyett `\H{o}`-t írunk.

Irodalomhivatkozásokat célszerű először olyan szolgáltatásokban keresni, ahol jó minőségű bejegyzések találhatók (pl. ACM Digital Library,⁴ DBLP,⁵ IEEE Xplore,⁶ SpringerLink⁷) és csak ezek után használni kevésbé válogatott forrásokat (pl. Google Scholar⁸). A jó minőségű bejegyzéseket is érdemes megfelelően tisztítani.⁹ A sablon angol nyelvű változatában használt `plainnat` beállítás egyik sajátossága, hogy a cikkhez generált hivatkozás a cikk DOI-ját és URL-jét is tartalmazza, ami gyakran duplikátumhoz vezet – érdemes tehát a DOI-kat tartalmazó URL mezőket törölni.

9.6. A dolgozat szerkezete és a forrásfájlok

A diplomatersablonban a TeX fájlok két alkönyvtárban helyezkednek el. Az `include` könyvtárban azok szerepelnek, amiket tipikusan nem kell szerkeszteniük, ezek a sablon részei (pl. címlap). A `content` alkönyvtárban pedig a saját munkánkat helyezhetjük el. Itt érdemes az egyes fejezeteket külön TeX állományokba rakni.

A diplomatersablon (a kari irányelvek szerint) az alábbi fő fejezetekből áll:

1. 1 oldalas *tájékoztató* a szakdolgozat/diplomaterv szerkezetéről (`include/guideline.tex`), ami a végső dolgozathoz törlendő,
2. *feladatkiírás* (`include/project.tex`), a dolgozat nyomtatott verziójában ennek a helyére kerül a tanszék által kiadott, a tanszékvezető által aláírt feladatkiírás, a dolgozat elektronikus verziójába pedig a feladatkiírás egyáltalán ne kerüljön bele, azt külön tölti fel a tanszék a diplomatersablonlapra,
3. *címlap* (`include/titlepage.tex`),

⁴<https://dl.acm.org/>

⁵<http://dblp.uni-trier.de/>

⁶<http://ieeexplore.ieee.org/>

⁷<https://link.springer.com/>

⁸<http://scholar.google.com/>

⁹<https://github.com/FTSRG/cheat-sheets/wiki/BibTeX-Fixing-entries-from-common-sources>

4. *tartalomjegyzék* (`thesis.tex`),
5. a diplomatervező *nyilatkozata* az önálló munkáról (`include/declaration.tex`),
6. 1-2 oldalas tartalmi *összefoglaló* magyarul és angolul, illetve elkészíthető még további nyelveken is (`content/abstract.tex`),
7. *bevezetés*: a feladat értelmezése, a tervezés célja, a feladat indokoltsága, a diplomaterv felépítésének rövid összefoglalása (`content/introduction.tex`),
8. sorszámmal ellátott *fejezetek*: a feladatkiírás pontosítása és részletes elemzése, előzmények (irodalomkutatás, hasonló alkotások), az ezekből levonható következtetések, a tervezés részletes leírása, a döntési lehetőségek értékelése és a választott megoldások indoklása, a megtervezett műszaki alkotás értékelése, kritikai elemzése, továbbfejlesztési lehetőségek,
9. esetleges *köszönetnyilvánítások* (`content/acknowledgement.tex`),
10. részletes és pontos *irodalomjegyzék* (ez a sablon esetében automatikusan generálódik a `thesis.tex` fájlban elhelyezett `\bibliography` utasítás hatására, a 9.5. szakaszban leírtak szerint),
11. *függelékek* (`content/appendices.tex`).

A sablonban a fejezetek a `thesis.tex` fájlba vannak beillesztve `\include` utasítások segítségével. Lehetőség van arra, hogy csak az éppen szerkesztés alatt álló `.tex` fájlt fordítsuk le, ezzel lerövidítve a fordítási folyamatot. Ezt a lehetőséget az alábbi kódrészlet biztosítja a `thesis.tex` fájlban.

```
\includeonly{
  guideline,%
  project,%
  titlepage,%
  declaration,%
  abstract,%
  introduction,%
  chapter1,%
  chapter2,%
  chapter3,%
  acknowledgement,%
}
```

```
appendices,%  
}
```

Ha az alábbi kódrészletben az egyes sorokat a % szimbólummal kikommentezzük, akkor a megfelelő .tex fájl nem fordul le. Az oldalszámok és a tartalomjegyék természetesen csak akkor billennek helyre, ha a teljes dokumentumot lefordítjuk.

9.7. Alapadatok megadása

A diplomaterv alapadatait (cím, szerző, konzulens, konzulens titulusa) a `thesis.tex` fájlban lehet megadni.

9.8. Új fejezet írása

A főfejezetek külön `content` könyvtárban foglalnak helyet. A sablonhoz 3 fejezet készült. További főfejezeteket úgy hozhatunk létre, ha új `TEX` fájlt készítünk a fejezet számára, és a `thesis.tex` fájlban, a `\include` és `\includeonly` utasítások argumentumába felvesszük az új `.tex` fájl nevét.

9.9. Definíciók, tételek, példák

Definíció 1 (Fluxuskondenzátor térerőssége). Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. ■

Példa 1. *Példa egy példára. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.*

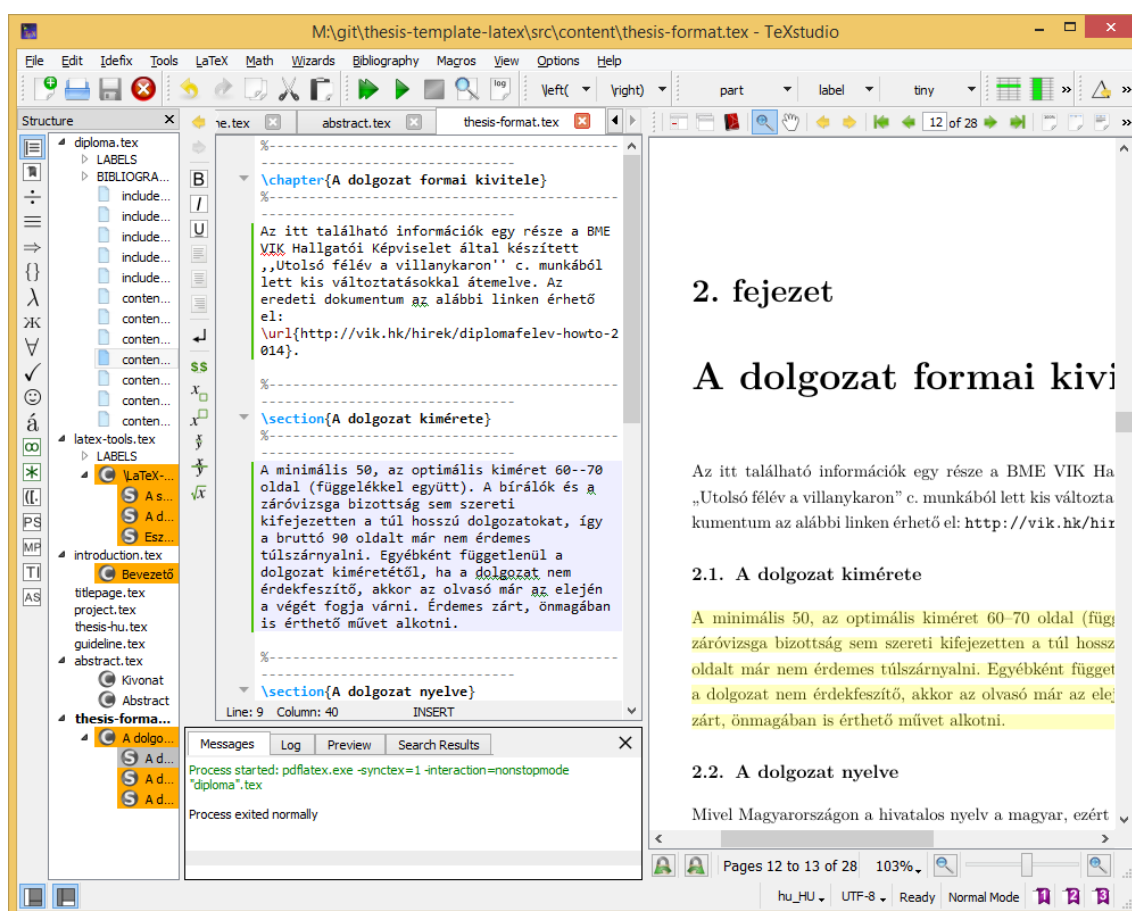
Tétel 1 (Kovács tétele). Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum. ■

Köszönetnyilvánítás

Ez nem kötelező, akár törölhető is. Ha a szerző szükségét érzi, itt lehet köszönetet nyilvánítani azoknak, akik hozzájárultak munkájukkal ahhoz, hogy a hallgató a szakdolgozatban vagy diplomamunkában leírt feladatokat sikeresen elvégezze. A konzulensnek való köszönetnyilvánítás sem kötelező, a konzulensnek hivatalosan is dolga, hogy a hallgatót konzultálja.

Függelék

F.1. A TeXstudio felülete



F.1.1. ábra. A TeXstudio L^AT_EX-szerkesztő.

F.2. Válasz az „Élet, a világmindenség, meg minden” kérdésére

A Pitagorasz-tételből levezetve

$$c^2 = a^2 + b^2 = 42. \quad (\text{F.2.1})$$

A Faraday-indukciós törvényből levezetve

$$\text{rot } E = -\frac{dB}{dt} \quad \longrightarrow \quad U_i = \oint_{\mathbf{L}} \mathbf{E} d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_A \mathbf{B} d\mathbf{a} = 42. \quad (\text{F.2.2})$$