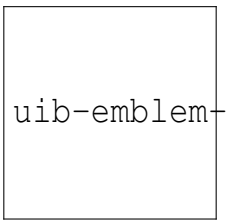
DASP350 – Datalingvistikk og språkteknologi mastergradsoppgåve

Syntaktisk fraselenking

Kevin Brubeck Unhammer

Institutt for lingvistiske, litterære og estetiske studier
Universitetet i Bergen
Haust, 2010



21/11, 2010

Forord

Denne oppgåva er ein del av Xpar-prosjektet «Language Diversity and Parallel Grammars» ved Universitetet i Bergen, og nyttar materiale og metodikk frå det prosjektet.

Takk...

Abstract

This thesis describes a knowledge-based method of automatic phrase alignment, with the aim of annotating a multilingual treebank for linguistic studies. Most current phrase alignment methods are based on extracting many-to-many-links from N-gram tables, perhaps filtering out true constituents or dependency links in a later step. Such methods do not utilise the full information available in a deep syntactic parse. Additionally, the goal is typically to build a machine translation system; very few methods aim at building treebanks for linguistic studies. Consequently, there is in principle no reason to exclude links which are not linguistically motivated.

The method described in this thesis, on the other hand, has the explicit goal of annotating a parallel treebank for linguistic research. It takes as input parallel sentences with deep, syntactic analyses in Lexical-Functional Grammar. The grammars giving rise to the analyses are assumed to follow common analysis guidelines; if so, structural similarity in analyses gives us evidence that constituents (syntactic phrases) or functional elements (predicates, arguments, adjuncts) may be linked. A set of principles for function and constituent alignment are formulated (keeping our annotation goal in mind), and an implementation of these principles is given. Finally, the method is evaluated both manually and automatically, and compared with methods based on N-gram tables. The results suggest that the method seems promising, but also show that there are specific possibilities for improvement.

Samandrag

Denne oppgåva presenterer ein kunnskapsbasert metode for automatisk frasesamanstilling, kor formålet er å annotere ein fleirspråkleg trebank for lingvistiske studium. Dei fleste frasesamanstillingsmetodane nyttar N-gramtabellar som grunnlag for å finne mange-mange-lenkjer; ekte syntaktiske konstituentar eller dependenslenkjer blir kanskje filtrert ut i eit seinare steg. Desse metodane nyttar ikkje den fulle informasjonen tilgjengeleg i ein djup syntaktisk analyse. I tillegg er formålet ofte å byggje eit maskinomsetjingssystem; få metodar rettar seg mot å byggje trebankar for lingvistiske studium. Difor har dei heller ingen prinsippielle grunnar til å ekskludere lenkjer som ikkje er lingvistisk motiverte.

Metoden i denne oppgåva, derimot, har som uttrykkeleg formål å annotere ein parallell trebank for lingvistisk forsking. Inndata er parallelle setningar med djupe, syntaktiske analysar i Leksikalsk-Funksjonell Grammatikk. Ein føresetnad er at grammatikkane som gir desse analysane følgjer felles retningslinjer for analyse; i så fall kan me ta strukturell likskap i analysane som evidens for at konstituentar (syntaktiske frasar) eller funksjonelle element (predikat, argument, adjunkt) kan lenkast. Oppgåva formulerer ei mengd prinsipp for funksjons- og konstituentsamanstilling (med annoteringsformålet i minnet), og gir ein implementasjon av prinsippa. Til slutt blir metoden evaluert, både manuelt og automatisk, og samanlikna med metodar som tek N-gramtabellar som datagrunnlag. Resultata tyder på at metoden er lovande, men viser au at det finst konkrete måtar å betre på metoden.

Innhald

Kapittel 1

Innleiing

> Die Summe des Erkennbaren liegt, als das von dem menschlichen Geiste zu bearbeitende Feld, zwischen allen Sprachen, und unabhängig von ihnen, in der Mitte.
>
> (Wilhelm von Humboldt)

Denne masteroppgåva utforskar kva det vil seie at to uttrykk er omsetjingar av kvarandre, og korleis me automatisk kan generere samanstillingar (*alignments*) av uttrykk som står i eit slikt omsetjingsforhold.

Omsetjingsforhold finn me mellom ord og setningar i kontekst på ulike språk, men me kan au finne ulike typar ekvivalensforhold – samanstillingar – mellom frasar innanfor setningane, og mellom lingvistiske skildringar av setningane. I samanheng med Xpar-prosjektet (XPar, 2008; Dyvik et al., 2009) har eg sett på metodar for automatisk frasesamanstilling, for å skildre omsetjingsforhold mellom grupper av fleire ord. Resultatet blir ein *annotasjon*, endå ei lingvistisk skildring av tekstene.

Det at me kan finne korrespondansar mellom lingvistiske skildringar (t.d. frasestrukturannotasjonar, dependensstrukturar, eller trekkstrukturane til dei grammatiske rammeverka HPSG eller LFG) gjer det tydeleg at me arbeider med ein *modell* av språket; ulike skildringar kan vere sanne innanfor modellen, utan at modellen er lik språket. Korrespondansane er au teoretiske storleikar, og me kan leggje ulike kriterium til grunn for å seie at to representasjonar korresponderer; på same måte som me kan leggje ulike kriterium til grunn for å seie at to ulike uttrykk er omsetjingar av kvarandre.

Kriteria avheng av formålet. Samanstillingsannotasjon kan t.d. nyttast som grunnlag for statistisk eller eksempelbasert maskinomsetjing, i tillegg til oppbygging av parallelle korpora for språkstudium. For statistisk maskinomsetjing vil alle uttrykk vere omsetjingar av kvarandre med eit visst sannsyn (kanskje null), ein har vanlegvis ikkje kriterium som krev lingvistisk analyse. Når samanstillinga skal nyttast i parallelle korpora for lingvistiske undersøkingar vil ein kanskje ha krav om at uttrykk som skal lenkjast er «like» på eit eller anna mål, utover at dei har opptredt saman ofte.

I den manuelle samanstillinga i Samuelsson & Volk (2006) har dei t.d. ein del reint semantiske kriterium for å opprette fraselenkjer i ein parallell trebank, men dei har ikkje krav om syntaktisk likskap. Xpar-prosjektet, som denne masteroppgåva er ein del av, har mellom anna som mål å oppdage forhold mellom grammatiske funksjonar, tematiske roller og kasusmarkering, ved hjelp av parallelle trebankar annotert med djupe grammatiske analysar. Trebankane vil innehalde parallell tekst på norsk, georgisk, tigrinya og nederlandsk. For å lenkje to frasar i dette prosjektet krev me ein viss syntaktisk likskap i omgivnadene til frasane, sjølv om frasane internt kanskje er syntaktisk ulike.

Grammatikkane som gir analysane i Xpar-prosjektet er utvikla med tanke på at *like syntaktiske fenomen på ulike språk skal få like analysar*. Frasesamanstillinga bør då kunne tene på at omsetjingar som har ein syntaktisk likskap vil få liknande analysar; nedanfor gir eg eit kort oversyn over tanken bak metoden i denne oppgåva.

Dei grammatiske analysane er gjort i leksikalsk-funksjonell grammatikk, LFG (Bresnan, 2001). Ei grammatisk analyse i LFG involverer både konstituentstruktur (c-struktur) og funksjonell struktur (f-struktur). Konstituentstrukturen liknar på frasestrukturtrea frå andre grammatiske tradisjonar. Dei funksjonelle strukturane er trekkstrukturar, som mellom anna representerer avhengnadsforhold mellom syntaktiske funksjonar som predikat, subjekt og objekt, i tillegg til å halde informasjon om grammatiske trekk som genus, tal eller kasus. Nodar i c-strukturen kan spesifisere informasjon på ulike stader i f-strukturen[1].

I Xpar-prosjektet vil ein finne ut om metodar for frasesamanstilling kan tene på det at LFG-grammatikkane for dei ulike språka er skrivne med same prinsipp lagt til grunn; to parallellstilte setningar bør ha f-strukturar som er like nok til at me kan samanstille frasar ved hjelp av denne likskapen. I Dyvik et al. (2009, s. 72) finn me følgjande hypotese:

> On the basis of monolingual treebanks constructed from a parallel corpus by means of parallel grammars it will be possible to achieve automatic word and phrase alignment with significantly higher precision and recall than hitherto achieved through other means.

kor «parallel grammars» her tyder at grammatikkane har ein viss parallellisme i både f-struktur og c-struktur.

Men i tillegg til at ein kanskje kan få betre skåre på desse kvantitative måla, vil lenkjer mellom f-strukturar gi informasjon som er kvalitativt forskjellig frå det ein kan få med å berre sjå på lenkjer mellom ord, N-gram eller konstituentar, og som vidare avgrensar kva for lenkjer som er moglege på dei andre nivåa.

Og sidan f-strukturane er meint å skildre informasjon på eit meir «språkuavhengig» nivå enn t.d. konstituentstruktur, bør f-strukturane vere gode kandidatar for å finne informasjon som korresponderer på dei to språka. Tanken er at me frå to f-strukturar som skildrar omsette setningar, kan

1. lage ei samanstilling mellom relevante delar av f-strukturane,
2. nytte denne funksjonelle samanstillinga til å finne ei konstituentsamanstilling, ved å følgje avbildinga frå f-struktur til c-struktur.

Eitt problem som byr seg er hypotesemangfaldet: kva for «delar av f-strukturane»? Korleis kan me avgrense søkjerommet? I det minste må me kunne kople dei lenkja f-strukturane opp mot c-strukturnodar; her er PRED-elementet (predikatet) ein god kandidat.

Vidare må me vite *korleis* me samanstiller desse delene. Me kan t.d. byrje med å lenkje dei yttarste f-strukturane frå kvart språk, og så rekursivt lenkje visse relevante substrukturar[2]. Eit naivt førsteutkast til ei *f-samanstilling*, samanstilling på f-strukturnivå, kan då sjå slik ut:

$$falign(f_1, f_2) = \{(f_1(\text{PRED}), f_2(\text{PRED}))\} \cup \bigcup_{g_1, g_2 \in fpairs(f_1, f_2)} falign(g_1, g_2)$$

[1] Ved c-struktur-f-strukturavbildinga ϕ, ein funksjon som tek ein c-strukturnode og returnerer ein (delvis) f-struktur. Eg gir ein litt djupare introduksjon til LFG i neste kapittel.

[2] Dette krev sjølvsagt at dei yttarste f-strukturane faktisk korresponderer i lenkja setningar, noko me ikkje alltid kan ta for gitt.

Funksjonen *falign* vil gi ei mengd av par av f-strukturar, kor kvart par altså er samanstilt. Problemet er då redusert til å finne ut kva for par av substrukturar som er «relevante», her representert ved $fpairs(f_1, f_2)$.

Sjølv om f-strukturar abstraherer frå skilnadene i korleis ulike språk nyttar ordgruppering og ordform til å kode syntaktiske forhold (Bresnan, 2001, s. 14), vil det oppstå forskjellar i f-strukturane til to parallellstilte setningar i eit korpus; både pga. «omsetjarfridom», ulikskap i argumentstrukturar og det at ulike språk nyttar ulike syntaktiske funksjonar til å uttrykkje det same konseptet. Det kan t.d. godt hende at me bør lenkje eit objekt på eitt språk til eit setningskomplement på eit anna språk. Skal ein algoritme gå frå f-strukturar til frasesamanstilling må han i det minste vere robust nok til å takle slik mangel på samsvar. Til å byrje med kan me tenkje oss at *fpairs* gir alle par av grammatiske funksjonar som har same plass i argumentstrukturen til predikatet. Så viss predikatet '**sein**' i f_1 har eit subjekt på førsteplass i strukturen, og så eit setningskomplement, medan '**have**' i f_2 har eit subjekt og så eit objekt, vil *fpairs* i det minste returnere $\{(f_1(\text{SUBJ}), f_2(\text{SUBJ})), (f_1(\text{XCOMP}), f_2(\text{OBJ}))\}$. Ved å lenkje f-strukturar med lik posisjon i argumentstrukturen kan me då enkelt få til lenkjer mellom grammatiske funksjonar med ulike namn. Men der me ikkje eingong har så mykje samsvar i argumentstrukturar, vil *fpairs* ha ein vanskelegare jobb.

Og sidan me gjerne au vil lenkje adverbial, som er representert som uordna mengder i f-strukturane, er det klart at *fpairs* ikkje er triviell å definere. Ein del av denne oppgåva vil altså vere å komme med forslag til funksjonen *fpairs*. Det inneber både å finne ut av kva me ønskjer å kunne lenkje, og å gi ein implementasjon av desse ønskene.

Om to f-strukturar er lenkja, har me grunn til å lenkje c-strukturnodane som projiserer dei. Men her er det ikkje sikkert me vil lenkje *alle* nodane; intuitivt vil me berre at nodar som dominerer korresponderande innhald skal lenkjast. Ei formalisering av dette steget, med diskusjon rundt problema, inngår au i denne oppgåva.

I første omgang spesifiserer eg kva for lenkjer mellom f-strukturar og c-strukturnodar me ideelt sett *ønskjer*, og drøftar eit par utfordrande døme. Eg implementerer så eit program `lfgalign` som automatisk finn samanstillingar med slike lenkjer. Dette programmet opprettar frasesamanstillingar med hjelp av f-strukturinformasjonen gitt av grammatikkar som er skrivne på felles prinsipp, i tillegg til å kunne avgrense lenkingar med hjelp av bottom-up-informasjon om kva for ordlenkjer som er moglege. Desse f-strukturane avgrensar igjen kva for ordsamanstillingar som er moglege, og kva for c-strukturnodar (syntaktiske frasar) som kan lenkjast. Til sist evaluerer eg resultatet av å køyre programmet mitt, og samanliknar dette med kva for samanstillingar me kan få frå andre metodar.

1.1 Vegkart

I neste kapittel gir eg eit oversyn over feltet *frasesamanstilling*, i tillegg til ein kort introduksjon til terminologi og konsept frå LFG som blir nytta i resten av teksta.

I kapittel 3 går eg gjennom kva me ønskjer av ei frasesamanstilling når formålet m.a. er å oppdage relasjonane mellom syntaktiske funksjonar, kasusmarkering og tematiske roller med hjelp av ein parallell trebank. Dette ender opp i ei mengd med «krav» som samanstillingane må fylle for å vere lovlege, og som implementasjonen av den automatiske frasesamanstillinga må følgje. Eg gir i tillegg nokre heuristiske rangeringskriterium for dei tilfella der me har ulike konkurrerande f-struktursamanstillingar. Eit oversyn over implementasjonen kjem i kapittel 4.

Eg evaluerer samanstillingane som kjem ut av denne metoden i kapittel 5. Her samanliknar eg lenkjene frå implementasjonen min med det som er mogleg der lenkjene kjem frå ei N-grambasert ordsamanstilling. Eg nyttar dei typologisk svært ulike språka georgisk og norsk i eit lite testsett kor eg går gjennom lenkingane manuelt. I tillegg ser eg på forskjellane mellom f-strukturlenkingane frå

min implementasjonen og dei som kjem frå ein N-grambasert metode for lenking av f-strukturar, på eit større, tysk-engelsk testsett. Til slutt diskuterer eg nokre opne problem, og moglege bruksområde for annotasjonen.

Kapittel 2

Bakgrunn og omgrepsavklaring

> Syntax, my lad. It has been restored
> to the highest place in the republic.
>
> (John Steinbeck)

Innanfor korpusbasert språkteknologi og korpusbasert datalingvistikk (t.d. statistisk maskinomsetjing) har djup, syntaktisk analyse lenge vore fråverande, kanskje delvis fordi ressursane som krevst tek tid å byggje opp, delvis fordi ein treng nye metodar, men dette har byrja å endre på seg i dei siste ti åra. I dette kapittelet gir eg eit oversyn over utviklinga av feltet frasesamanstilling, då spesielt dei metodane som nyttar djup syntaktisk analyse eller rettar seg mot trebankar. Eg gir au ein kort gjennomgang av nokre syntaktiske omgrep og konsept som eg kjem til å nytte i resten av oppgåva.

2.1 Metodar for frasesamanstilling

Frasesamanstilling vil seie lenking av (representasjonar av) delar av setningar som (representerer ord som) har ein omsetjingsmessig korrespondanse. Merk at ordet «frase» ofte blir nytta i litteraturen om kontinuerlege strenger av ord (N-gram) som ikkje treng vere syntaktiske konstituentar. I vid forstand kan me au inkludere lenking av delar av dependensstrukturar, eller av syntaktiske funksjonar, som begge representerer mengder med ord.

Automatisk frasesamanstilling er eit nytt felt. Det finst allereie veldig gode system for automatisk lenking av setningar; her har ein fått svært gode resultat ved å nytte ein statistisk omsetjingsmodell (Chen, 1993); andre metodar har nytta avstand eller delstrengoverlapp (Manning & Schütze, 1999, s. 467–484 gir eit oversyn). Automatisk samanstilling av ord har au komme langt (sjå Brown et al. (1993) for dei klassiske «IBM-modellane»; Och & Ney (2003) gir eit godt oversyn over ytinga til leiande metodar). Men på nivåa mellom ord og setning er det vanskelegare å vurdere feltet. Det finst fleire moglege einingar å lenkje – kontinuerlege N-gram, kontinuerlege eller diskontinuerlege konstituentar, dependensstrukturar, syntaktiske funksjonar – og i motsetning til einingar som *ord* eller *setning*, er einingane i ein frasesamanstilling sjeldan teoretisk ukontroversielle[1]. Dei ulike tilnærmingane som finst, og einingane dei lenkjar, er prega av formåla til utviklarane.

Eit av dei tidlegaste forsøka på å lenkje frasar var Kupiec (1993), her berre nominalfrasar. Metoden besto i å først køyre ein statistisk ordklassetaggar, så finne sannsynlege nominalfrasar på

[1] Manning & Schütze (1999, s. 470) skil i tillegg mellom *samanstillingsproblem* og *korrespondanseproblem*, der berre det siste kan involvere kryssande avhengnader.

kvart språk (dvs. «chunking») med reine regulære uttrykk, følgt av lenking av slike kontinuerlege ordstrengar basert på sannsynsmaksimering[2]. Resultata var relativt gode for enkle frasar (nitti av dei hundre høgast rangerte korrespondansane var akseptable), men modellen var svært enkel og involverte ikkje nokon kontekst rundt frasane.

Innanfor korpuslingvistikken har Piao & McEnery (2001) nytta enkel kollokasjonsinformasjon og ordklasseheuristikkar for å først finne sannsynlege nominale frasar på engelsk og kinesisk, og så lenkje desse ved hjelp av sannsynsheuristikkar som t-skåre og *Mutual Information*. Dei køyrer fleire runder med lenking av lengre og lengre N-gram. Her, som i Kupiec (1993), er evalueringsgrunnlaget rett og slett ein manuell gjennomgang av dei mest sannsynlege omsetjingane dei får.

Den manuelle frasesamanstillinga i Samuelsson & Volk (2006), nemnt i introduksjonen, blei nytta som evalueringsstandard for den automatiske metoden i Samuelsson & Volk (2007). Her finn dei ei konstituentsamanstilling frå ei ordsamanstilling, der berre N-gram som svarer til ein syntaktisk node blir lenkja som frasar. Formålet er å lage ein parallell trebank, kor det altså er unyttig å lenkje «frasar» som *ikkje* er konstituentar. Eg kjem tilbake til denne metoden i kapittel 5.

Sjølv om fraselenkjer kan vere nyttige i korpuslingvistikken er det hovudsakleg innanfor statistisk maskinomsetjing at ein har forska på samanstilling av frasar. Koehn et al. (2003) gir ei grundig evaluering av ulike statistiske metodar for frasesamanstilling til bruk i stokastisk maskinomsetjing. Dei nyttar BLEU-skåren til å rangere resultata (Papineni et al., 2001, i Koehn et al., 2003, s. 51); denne evalueringsmetoden gir ei rangering ved (N-grambasert) samanlikning med ferdig omsett tekst.

Den første metoden, *AP*, er reint N-grambasert. Dei nyttar verktøyet Giza++ (Och og Ney, 2000, i Koehn et al., 2003, s. 50) til å indusere ordsamanstilling frå eit setningssamanstilt korpus (vha. «modell 4» for ordsamanstilling, utvikla ved IBM av Brown et al. (1993)). Denne samanstillinga er 1-til-n (t.d. eitt engelsk ord til to franske), så dei finn ordsamanstilling for begge retningar og tek så snittet av alle moglege N-gramsamanstillingar som ikkje er i konflikt med ordsamanstillingane. Dei føyer så på ord frå unionen av desse vha. nokre enkle heuristikkar.

Den andre metoden, *Syn*, tek berre med dei frasane som står under syntaktiske nodar i eit parsa korpus; frasesamanstillinga til *Syn* er ein delmengd av den i *AP*. Denne syntaktisk informerte modellen gav ein mykje dårlegare BLEU-skåre enn den reint N-grambaserte modellen (faktisk dårlegare enn omsetjingane frå den opphavlege modell 4 for ordsamanstilling, utan frasesamanstilling). Dei forklarer dette med den store mengda uttrykk som ikkje utgjer syntaktiske konstituentar i følgje parsaren deira, men likevel konsekvent blir omsett til visse uttrykk på det andre språket (t.d. «es gibt» på tysk til «there is» på engelsk).

Seinare resultat har vist at ein *kombinasjon* av syntaktisk informerte metodar med reint N-grambaserte modellar (dvs. i motsetning til å berre fjerne samanstillingar mellom ikkje-konstituentar) kan auke skåren i ein maskinomsetjingsevaluering, både om ein som i *Syn*-modellen nyttar frasestrukturinformasjon, men i endå større mon om ein nyttar dependendsinformasjon (Tinsley et al., 2007; Hearne et al., 2008). Dette er interessant med tanke på at LFG-analysane gir begge typar informasjon.

Riezler & Maxwell (2006) utvikla ein metode for å kombinere frasebasert statistisk maskinomsetjing med LFG-basert setningsgenerering. Dei finn ei n-til-m-ordsamanstilling med Giza++ som i metodane over, men parsar i tillegg setningane i LFG. Dei to moglege f-strukturane som liknar mest blir valt ut, og frå ordsamanstillinga finn dei mange-til-mange-korrespondansar mellom substrukturane i f-strukturane. Ved å leggje til LFG-basert generering fekk det kombinerte systemet betre resultat på langdistanseavhengnader og generalisering til nye uttrykk med strukturell likskap til tidlegare observerte uttrykk. Dei går altså frå ordlenkjer til f-strukturlenkjer, motsett retning frå metoden i denne oppgåva. Ordlenkjer har au gitt f-strukturlenkjer i overføringsbasert (transferba-

[2]Dette er ein av dei vanlegaste metodane for iterativ reestimering av parametre i ein statistisk modell; eg kjem tilbake til sannsynsmaksimering i kapittel 5.

sert) statistisk maskinomsetjing (Graham & Genabith, 2010, 2009; Graham et al., 2009), som eg kjem tilbake til i kapittel 5. I det siste har det au komme ein del nye, reint statistiske metodar for samanstilling av konstituentstrukturar, t.d. Zhechev & Way (2008); Tiedemann & Kotzé (2009).

Så langt har eg ikkje komme over metodar som prøver å finne eller betre på frase- og ordsamanstilling direkte frå ein LFG-parse – det er dette som er strategien til programmet `lfgalign` i kapittel 4 – men det er stor overlapp mellom krava som kjem i kapittel 3 (i tillegg nemnt i Unhammer, 2010) og dei gitt i den første publiseringa i Xpar-prosjektet, Dyvik et al. (2009).

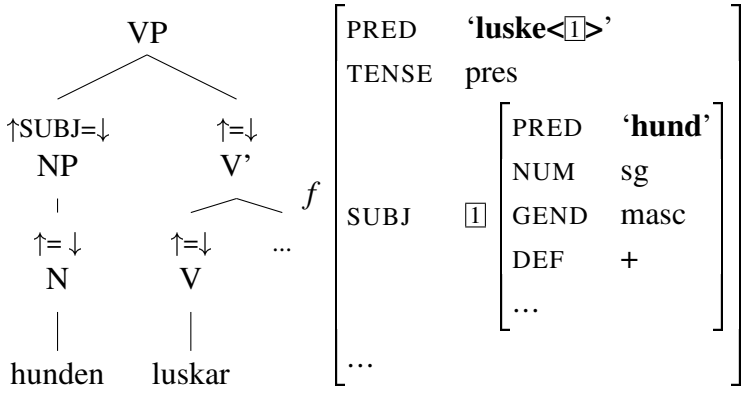
2.2 Eit kort oversyn over leksikalsk-funksjonell grammatikk og terminologi

I dei følgjande kapitla nyttar eg ein del terminologi frå LFG, Leksikalsk-Funksjonell Grammatikk. Difor gir eg her eit kort oversyn over det som kan vere nytt for dei som er meir vand med andre grammatiske rammeverk, i tillegg til å avklare eit par eigne termar eg nyttar i teksta.

LFG er eit **modellteoretisk**, ikkje-derivasjonelt, rammeverk for grammatikk. Pullum & Scholz (2001) gir ein god gjennomgang av forskjellen mellom dei meir tradisjonelle derivasjonelle (au kalla enumerative) grammatikkane og modellteoretiske grammatikkar. Derivasjonelle grammatikkar, som transformasjonsgrammatikkane til Chomsky, definerer eit språk som *ei mengd av uttrykk* ved avleiing frå eit startsymbol. Ein modellteoretisk grammatikk, derimot, gir skildringar av *enkeltuttrykk*, kor eitt uttrykk kan ha fleire moglege skildringar (språket er ikkje definert som ei mengd).

Ein modellteoretisk grammatikk kan i tillegg skildre strukturen (eller dei moglege strukturane) til *fragment* av setningar, og denne strukturen er lik det bidraget som fragmentet tilfører analysen av heile setninga. Det tilsvarande er ikkje mogleg å gjere derivasjonelt. Pullum & Scholz (2001, s. 32–33) gir t.d. eit fragment som kjem midt i eit høgreforgreina tre; ei derivasjonell skildring ville måtte skildre treet over eller under, men utan informasjon om kva som kjem til høgre eller venstre kan me ikkje (på ein ikkje-vilkårleg måte) skildre subtreet utanfor fragmentet heilt fram til terminal- eller startsymbol.

I LFG har analysane ulike *nivå*, eller *strukturar* (dette er ein av hovudforskjellane frå rammeverket HPSG (Sag et al., 2003), som LFG elles kan likne på). Konstituentforhold er skildra i **c-strukturen** («constituent structure»), medan forhold mellom syntaktiske funksjonar og grammatiske trekk kjem til syne i **f-strukturen** («functional structure»), ein trekkstruktur. Ein trekkstruktur er ei mengd attributt og verdiar, kor ein verdi kan vere atomær eller peike på ein ny trekkstruktur. Figur 2.1 illusterer eit enkelt døme for eit fragment.



Figur 2.1: Konstituentstruktur og funksjonell struktur

Konstituentstrukturen liknar på tradisjonelle frasetre, kor dominans mellom nodane viser frase-

hierarkiet i analysen av setninga. Nodekategoriane er vanlegvis basert på $\overline{\text{X}}$-prinsipp. Hovudet i ein frase er XP; ein XP kan bestå av ein *spesifikatorfrase* (valfritt) og ein X' (eller $\overline{\text{X}}$). Ein X' kan bestå av ein X' og eit *adjunkt*, eller ein X og eit *komplement*[3]. I figur 2.1 har me t.d. ein VP (her er X=V), med ein spesifikator til venstre (ein ny frase, NP), og V' (dvs. $\overline{\text{V}}$) til høgre. V' består av V og kanskje eit komplement til høgre. I dette tilfellet er spesifikator subjekt (kanskje har me eit refleksiv pronomen som komplement).

I tillegg har kvar node i LFG ei kopling til f-strukturen, via **c-struktur-f-strukturavbildinga** ϕ. Nodar i c-strukturen kan spesifisere informasjon på ulike stader i f-strukturen (me seier at nodane **projiserer** f-strukturar, eller delar av dei). I dette tilfellet går ϕ av VP her til f-strukturen f, VP projiserer f. NP-noden er annotert med $\uparrow$SUBJ=$\downarrow$, dette les me som at «denne noden projiserer subjektet til ϕ av mornoden», altså projiserer NP-en SUBJ av f. NP er ikkje åleine om å gjere dette, N-noden har $\uparrow$=$\downarrow$ som vil seie at N projiserer same f-struktur som NP. Dette subjektet har fleire trekk i f-strukturen, t.d. NUM og GEND som har atomære verdiar og seier at dette er i eintal og maskulinum. Viss eit anna ord i setninga må samsvare med dette for å vere grammatisk, kan me krevje i grammatikken at me kan **unifisere** visse trekk; for atomære trekk som dette kan me alltid unifisere dei viss atomet er formmessig likt. Me kan au unifisere heile trekkstrukturar så lenge dei ikkje har trekk som ikkje kan unifiserast; dei unifiserte strukturane er då blitt *ein* struktur, og alle referansar til dei to peiker no på same struktur. Slik er det mogleg å få *sykliske* strukturar – ein f-struktur er matematisk sett ein *graf*. Det er altså ikkje mogleg å gjere om ein f-struktur til ein trestruktur utan å miste informasjon (eller leggje til spesielle tolkingar av treet).

I figur 2.1 er verdien av PRED-trekket til subjektet '**hund**'. PRED er eit spesielt trekk, verdien her er ein *semantisk form*. Desse er alltid *unike*, og kan ikkje unifiserast sjølv om dei har lik form. I tillegg viser dei *argumentstrukturen* til predikatet. I figur 2.1 har predikatet '**luske**' eitt argument, subjektet (det at argumentet er unifisert med SUBJ-trekket er vist ved at dei begge har indeksen $\boxed{1}$). I tillegg til argument, kan eit predikat ha *adjunkt* (adverbial); desse er representert i uordna mengder i trekket ADJUNCT.

Visse *endosentrisitetsprinsipp* avgrensar avbildinga mellom c-struktur og f-struktur, ved å vise til $\overline{\text{X}}$-kategoriane; til dømes har me alltid $\uparrow$=$\downarrow$ på ein X' som står under XP.

Avbildinga frå c-struktur til f-struktur er mange-til-ein. Som nemnt projiserte både NP og N same f-struktur. Desse nodane dominerer same ord i c-strukturen, men det går fint an at to nodar som dominerer ulike mengder med ord kan projisere same f-struktur; då har me ein **diskontinuerleg konstituent**.

Viss me følgjer avbildinga frå c-struktur til f-struktur tilbake til c-strukturen igjen, finn me det **funksjonelle domenet** til ein f-struktur. Me skriv $\phi^{-1}(f)$ (altså inversen av ϕ) for det funksjonelle domenet til f-strukturen f. Dette tilsvarer dei nodane i c-strukturen som saman projiserer denne f-strukturen (Bresnan, 2001, s. 126). Sidan dette er inversen av ein funksjon, kan me altså ha diskontinuerlege konstituentar i same funksjonelle domene, på same måte som ulike argument til ein funksjon kan gi same verdi.

I denne oppgåva nyttar eg, i tillegg til LFG-terminologien, orda *lenkje* og *samanstilling* i omtrent same tyding som dei engelske termane *link* og *alignment*. Ei samanstilling er ei mengd lenkjer. Merk at ei enkeltlenkje treng ikkje å vere ein-til-ein. Lenkjer og samanstillingar er ekvivalensforhold som me kan finne mellom lingvistiske *representasjonar* (f-struktur, c-struktur) eller *uttrykk* (ord, setningar). Lenking mellom dei siste er meir ateoretisk/datanært – grunnlaget for å opprette ei lenkje mellom to c-strukturnodar (representasjonar) er at uttrykka i kontekst som dei representerer er omsetjingar (og har lik nok syntaks i følgje dei to grammatiske analysane til at me kan lenkje nodane). Neste kapittel prøver å avgrense *når* me ønskjer å lenkje to representasjonar.

[3] I utgangspunktet kan ein tenkje på *spesifikator*, *adjunkt* og *komplement* som tomme symbol her, definert ved posisjonen dei har i forhold til XP og X'.

Kapittel 3

Krav til frasesamanstilling

El original es infiel a la traducción.

(Jorge Luis Borges)

3.1 Innleiing

I denne delen prøver eg å finne fram til kva som er den best moglege frasesamanstillinga. Eg argumenterer for at «best» her må tolkast i forhold til eit formål; her er formålet å annotere ein trebank for lingvistiske studium, m.a. for å undersøkje ulike samsvar mellom kasusmarkering og semantisk rolletildeling. Som utgangspunkt har eg visse krav for ordsamanstilling gitt i Thunes (2003), saman med krava for frasesamanstilling i Dyvik et al. (2009). Eg viser kvifor ein, for våre formål, må revidere kravet til Thunes om likskap i argumentstruktur. Eg gir nokre døme for å grunngje krava i Dyvik et al. (2009), i tillegg til å utdjupe dei for å gjere dei enklare å implementere i kapittel 4. Dette involverer au å omformulere krava for c-struktursamanstilling slik at dei ikkje refererer til ordlenkjer, berre f-strukturlenkjer. Sidan eitt av måla med Xpar-prosjektet er å finne ut kor mykje frasesamanstillingsinformasjon me kan få ut av parallellismen i f-strukturane (eller, sett frå den andre sida, kor uavhengig ein kan gjere seg av den bottom-up-informasjonen ei ordlenkje gir), blir det eit avleidd mål å formulere frasesamanstillingskrava med referanse til f-strukturane der det går an.

3.2 Formål med frasesamanstilling

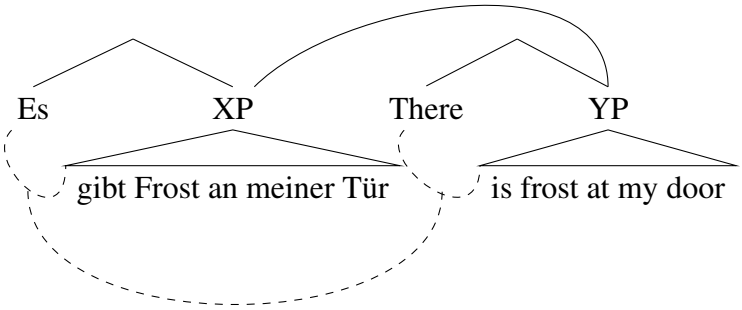
Ei frasesamanstilling er ein slag annotasjon av eit korpus. På same måte som oppbygginga av eit korpus avheng av formålet til korpuset, kan ein ikkje definere den ideelle annotasjonen av eit korpus utan å ta høgd for kva ein skal nytte annotasjonen til.

Me kan illustrere dette med eit enkelt, praktisk døme: ved automatisk ordklassetagging må ein gjerne avvege mellom dekning (å finne flest moglege analysar for flest mogleg ord) og presisjon (å berre ende opp med korrekte analysar). Viss formålet er å annotere ein leksikografisk ressurs, vil det vere viktigare med høg dekning på bekostning av presisjon, sidan leksikografen gjerne leiter etter nye/kreative bruksområde av ord. Skal taggaren nyttast til maskinomsetjing i staden, kan ein ikkje nytte meir enn éin analyse til slutt, så her er presisjon viktigast.

Sjølvsagt kan ein her seie at den *ideelle* annotasjonen vil vere å berre ha korrekte analysar, men sjølv ved ideelle krav er formålet viktig: er ein ute etter å finne N-gram som ofte blir omsett med kvarande, men som *ikkje* er syntaktiske konstituentar, er det klart at retningslinjene nedanfor ikkje

er så nyttige[1]. I tillegg kan ein sjå på kva slag setningspar som er relevante å kunne handtere – skal me annotere setningar som er klart ugrammatiske, som inneheld openberre skrivefeil eller liknande? Rosén & De Smedt (2007, s. 158) skriv i denne samanhengen at «building a treebank is not just a matter of assigning some analysis to everything, but also of making grammaticality judgments»; og å analysere alt berre for å analysere det kan gå mot sitt formål – dette gjeld særleg når ein er ute etter å undersøkje eit *språk*, og ikkje berre eit *korpus*. Analogen til frasesamanstilling blir då at ufullstendige analysar er mindre viktige å handtere, når me er ute etter å byggje ein parallell trebank for språkstudium.

Sidan utviklinga av automatisk frasesamanstilling hovudsakleg har skjedd innanfor frasebasert statistisk maskinomsetjing (PBSMT), kjem me ikkje utanom ei samanlikning her. I PBSMT er formålet med ei fraselenkje å betre maskinomsetjing på eitt eller anna mål, t.d. BLEU-skåren. BLEU-skåren samanliknar ferdig omsett tekst (ein gullstandard) med det automatisk omsette, ved å sjekke kor mykje N-gram-overlapp det er mellom tekstene. Ei lenkje mellom N-grammet *es gibt* og *there is* (dvs. eit auka sannsyn for å nytte slike par i omsetjinga) kan gi ein høgare (betre) endeleg skåre i BLEU. Som vist i Koehn et al. (2003) fekk dei ein *lågare* BLEU-skåre når dei fjerna lenkjer mellom N-gram som, i følgje ein robust statistisk frasestrukturparsar, ikkje var syntaktiske frasar (konstituentar). Dvs. at i figur 3.1 vil lenkja vist ved den prikkete linja bli fjerna frå mengda over moglege lenkjer om ein berre held seg til syntaktiske konstituentar, og $p(es\ gibt,\ there\ is)$ vil ikkje bli tilsvarande auka i den statistiske omsetjingsmodellen. Sidan PBSMT, som skildra i Koehn et al. (2003), er agnostisk til syntaktiske høve i omsetjingssteget[2] er det for dei ingen grunn til å berre halde seg til samanstilling mellom syntaktiske konstituentar; dei har i utgangspunktet meir nytte av kollokasjonsinformasjon.



Figur 3.1: N-gram-samanstilling versus syntaktiske frasar

Men sett no at me ikkje har som formål å nytte frasesamanstillinga til reint N-grambasert omsetjing. Kva for *lingvistiske* krav kan me stille til å kalle to frasar samanstilte? Me må i alle fall tillate ein del skilnad. I alle større parallelltekster vil parallellstilte setningar ha visse syntaktiske og semantiske[3] omsetjingsskifte, t.d. leksikalisering av syntaktiske konstruksjonar eller omvendt, endring av ordklasse, presisering/depresisering, endringar i leksikalske trekk (t.d. telleleg/utelleleg), osb. (Munday, 2001, s. 56–62), slik at den einaste fullstendige, «perfekte» samanstillinga vil vere identitetsfunksjonen. Kor mykje mangel på samsvar me godtek blir då avgjort av formålet med samanstillinga.

[1] Eit anna perspektiv ein kan ta er kva for samanstillingar eit utval av tospråklege annotørar meiner er passande – gitt visse overordna retningslinjer for annotasjonen. Volk et al. (2008) operasjonaliserer konseptet *samanstilling* på denne måten, og testar slik kor enkelt det er å følgje dei overordna retningslinjene deira.

[2] Både omsetjingsmodellen og språkmodellane er reint N-grambaserte her, og har difor ikkje nytte av syntaktisk informasjon (i motsetning til syntaktisk informert generering slik Riezler & Maxwell (2006) implementerer).

[3] Sidan eg går ut frå at data er setningssamanstilt, kjem eg ikkje inn på diskurs-/pragmatiske verknader, med mindre dette fører til forskjellar innanfor setningane (sjå t.d. del 3.5 om lenkjer mellom koreferente substantiv og pronomen).

Eitt av formåla med samanstillinga i denne oppgåva er å kunne oppdage korleis ulike språk realiserer semantiske roller syntaktisk; då spesielt i forhold til hypotesane gitt i XPar (2008, s. 7), t.d. at «case marking might be useful to further determine a given argument's semantic role». Skal me finne det siste, må me altså kunne lenkje frasar med ulik kasusmarkering, men ha krav om lik tildeling av semantiske roller; samtidig skal me sjå at me ikkje kan ha krav om lik syntaktisk funksjon, eller ein gong lik plass i argumentstrukturen. I tillegg vil me sjølvsagt ikkje lenkje på tvers av konstituentgrenser, sidan det er fullstendige konstituentar[4] som fyller dei semantiske rollene.

Eit anna mogleg formål er å nytte desse frasesamanstillingane til maskinomsetjing, som i Riezler & Maxwell (2006) eller Graham & Genabith (2010); Graham et al. (2009). Samanstillinga utvikla her burde au kunne nyttast til å finne slike overføringsreglar, men dette er ikkje noko eg har lagt vekt på.

Nedanfor gir eg eit forslag til krav for frasesamanstilling, med formåla nemnt her i tankane. Om alle krava er moglege å implementere, er eit separat problem.

3.3 Frasesamanstilling i ein LFG-trebank

Samanstilte frasar bør ha nok semantisk likskap til å kunne opptre som omsetjingar i liknande omgivnader (Dyvik et al., 2009, s. 74). Thunes (2003) gir nokre prinsipp – som er passande å ha som utgangspunkt – for å fastslå det som kan kallast *omsetjingsmessig korrespondanse* (her for ordsamanstilling). Dette er prinsipp som skal gjelde for eit litt forskjellig formål, men som au «ligger nær opp til det vi intuitivt mener er riktig» (Thunes, 2003, s. 2). Prinsippa blir nytta til å lage ein gullstandard for ordsamanstilling[5], hovudsakleg for dei opne klassene, og er definert ved å vise til kva for rolle eit argumentord speler, eller kva for rolletildeling eit predikat eller modifiserande ord gir. Så for å t.d. samanstille to verb må dei ha like mange semantiske argument (men argumenta treng ikkje alle realiserast syntaktisk) og dei må *tildele same roller*; medan argumenta må *spele same rolle*, og både argument og adjunkt må vere *koreferente*. Lenkja ord må vere del av frasar som speler same rolle i «det som er felles i interpretasjonene av [dei to setningane]» (Thunes, 2003, s. 3).

Viss me tek utgangspunkt i det siste, vil det vere naturleg å i tillegg lenkje desse frasane som speler same rolle i «det som er felles i interpretasjonene».

Krava for ordsamanstillinga må au vere fylt for at desse frasane kan samanstillast. Ei ordsamanstilling er altså naudsynt for ein frasesamanstilling, og omvendt. Dette er berre problematisk om me føreset at det eine er derivert av det andre; men dette har me ingen *a priori* grunn til å gjere. Krava eg her utviklar bør i staden sjåast på som *skrankar* på moglege samanstillingar i modellen (jamfør 2.2 om modellteoretiske grammatikkar), heller enn derivasjonelle forhold. Samtidig er det som nemnt eit mål å finne ut kor uavhengig me kan gjere oss av ordlenkingsinformasjonen (dette er au nyttig for implementasjonen), utan at det treng å gi krava ei *retning*.

Ei frasesamanstilling er ei skildring av forhold mellom *fragment* av setningar, dette er endå ein grunn til at det er naturleg å skildre dei ønskelege forholda som skrankar på moglege samanstillingar. Me kan setje skrankar på f-struktur-, konstituent- og ordsamanstilling samtidig, utan å måtte ha krav om at den eine samanstillinga er fullstendig (eller delvis) avleiia av den andre, før me veit om eit slikt avleiingsforhold er empirisk fundert. Me kan i tillegg ha ufullstendige samanstillingar i

[4] LFG tillèt som nemnt diskontinuerlege konstituentar, men dette er ikkje det same som ikkje-konstituentar av typen «es gibt» / «there is».

[5] (Thunes, 2003, s. 2): «Våre prinsipper er satt opp for å tjene et bestemt formål, nemlig å samle inn data som metoden i Semantic Mirrors skal anvendes på», ein metode for å automatisk finne WordNet-liknande relasjonar frå parallelltekst. I denne metoden vil det vere naturleg med høge krav til presisjon, men kanskje lågare krav til dekning: speilmetoden skal finne leksikalske semantiske forhold som held på *typenivå*, medan for trebanken er det viktigare korleis me kan annotere eit *token* av t.d. eit verb i ein viss VP i ei gitt korpussetning.

dei tilfella der det er ufullstendig samsvar mellom setningane (der ei fullstendig samanstilling ville brutt visse krav).

Sidan metoden er mynta på bruk i ein LFG-parsa trebank, og delvis vil nytte denne annotasjonen som datagrunnlag, er det naturleg å nytte same konsept som blir nytta i LFG[6] (f-struktur, c-struktur, endosentrisitetsprinsipp, $\overline{\text{X}}$-tre, osb.) au i desse krava til den «beste» frasesamanstillinga. I den grad LFG gir ei generaliserbar skildring av syntaks, bør desse krava vere generaliserbare til andre teoriar, men ein del forhold som er avleidd av LFG-prinsipp må sjølvsagt modifiserast om krava skal generaliserast til andre rammeverk.

Utan skrankar i det heile vil alt kunne lenkjast til alt (noko som er like unyttig som å ikkje lenkje noko); i del 3.4 ser eg på kva for typar element i dei lingvistiske analysane (ord, grammatiske trekk, konstituentar, ...) det er fornuftig å tillate lenkjer mellom. I avsnitta nedanfor spesifiserer eg kva som må til for at me skal lenkje element av desse typane.

3.4 Kva kan lenkjast?

Viss to uttrykk er lenkja på setningsnivå (slik at me dimed kan gå ut frå at dei er omsetjingar av kvarandre), og begge har ein LFG-analyse, så har me iallfall tri ulike nivå kor me kan finne ekvivalensforhold under setningsnivå:

1. mellom ord i setningane,
2. mellom f-strukturar,
3. mellom c-strukturnodar.

På begge språk har me alle nivå – det er ingen grunn til å lenkje på tvers av nivå sidan forhold mellom desse nivåa er implisitt i LFG-analysen.

Alle ord i setninga er *kandidatar* for samanstilling med ord i omsetjinga, men det kan godt hende at eit ord *ikkje* har ei lenkje, og det kan au hende at det finst mange-til-mange-lenkjer som ikkje kan «delast opp». Dette gjeld au nodane i c-strukturen.

Me hindrar lenking av ikkje-konstituentar som *There is* på c-strukturnivå sidan ei lenkje mellom to c-strukturnodar impliserer at heile frasen under er lenkja. Det finst ingen c-strukturnodar som dominerer berre *There*, *is* og ingen andre ord; N-grammet som er samansett av desse to orda er ikkje ein lenkjekandidat. Det same gjeld *Es*, *gibt*. Då kan *There is* og *Es gibt* i figur 3.1 ikkje lenkjast åleine, men berre som del av ei ytre frasesamanstilling[7].

Når det gjeld f-strukturane er det ganske mange element me teoretisk sett kunne ha lenkja, t.d. enkelttrekk som kasus eller dei uordna mengdene med adjunkt, men det som er mest *nyttig* og *meiningsfullt* er nok å berre lenkje der det er ei nær kopling til orda i setninga. Sidan alle PRED-element i ein f-struktur unikt står for predikerande ord, kan me – gitt to samanstilte setningar – la *kandidatane for samanstilling på f-strukturnivå* inkludere alle desse PRED-elementa i f-strukturane til setningane[8]. PRED-element representerer semantiske bidrag som oftast er påkravde på begge språk i omsetjingar, medan andre f-strukturtrekk gjerne er valfrie på det eine av språka; det er ikkje alle språk som har t.d. obligatorisk kasusmarkering, og ein vil kanskje nytte trebanken til å oppdage nettopp slik variasjon. PRED-elementa er i tillegg gjerne enklare å knyte direkte opp mot

[6] I tillegg finst andre positive biverknader av ei LFG-basert frasesamanstilling for bruk i denne samanhengen, som at ein kan studere kor parallelle dei parallelle grammatikkane i ParGram-prosjektet (Butt et al., 2002) faktisk er, på ulike nivå (leksikon og argumentstruktur, c-struktur, f-struktur).

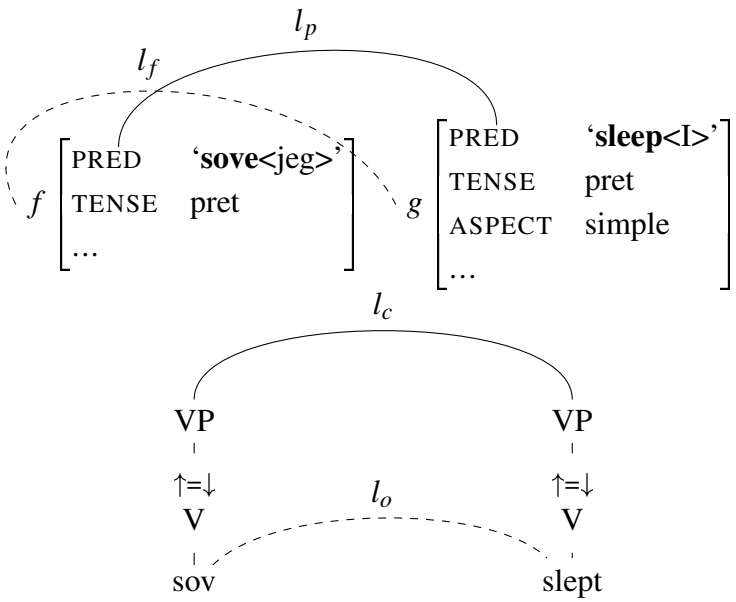
[7] Slike forhold kan me sjølvsagt finne igjen etter lenkinga, men då vil me au kunne generalisere til andre ordformer. Eg kjem tilbake til dette i kapittel 5.

[8] I del 3.7.3 kjem eg tilbake til spørsmålet om me vil inkludere visse ord som ikkje projiserer PRED-element i kandidatane for samanstilling.

den konkrete, observerte tekststrengen (eventuelt teste mot korpora, eller talarintuisjonar), medan eit trekk som aspekt kanskje er umogleg å skilje frå tempus i affikset (det vil vere vanskelegare å teste om ei lenkje mellom aspekt-trekk er empirisk motivert utan å dra inn ein heil del teori).

Samtidig er det au eit omsetjingsforhold mellom trekka i same f-struktur som dei lenkja PRED-elementa, og me ville kanskje ikkje ha omsett dei to PRED-elementa i andre f-strukturkontekstar. Difor bør me au sjå på ei PRED-lenkje som ei lenkje mellom *f-strukturane til desse* PRED*-elementa*[9]. Med dette i tankane, kombinert med c-struktur-f-strukturavbildinga ϕ (sjå del 2.2), får me følgjande samanheng, illustrert i figur 3.2:

(1) Ei lenkje mellom to PRED-element p og q, kor p er medlem av f-strukturen f, og q er medlem av f-strukturen g, tilseier at:
   a. me tolkar f-strukturane f og g som lenkja,
   b. orda i setningane som projiserer PRED-elementa tek del i ei lenkje (kor andre ord kan vere involvert), og at
   c. nodar innanfor $\phi^{-1}(f)$ og $\phi^{-1}(g)$, dei funksjonelle domena til f-strukturane f og g, kan lenkjast



Figur 3.2: Ei PRED-lenkje l_p kan tolkast som ei f-strukturlenkje l_f, og impliserer at me kan lenkje c-strukturnodar i dei to funksjonelle domena, l_c. Orda som projiserer PRED-elementa er med i ei lenkje l_o (som kan inkludere fleire ord).

Punkt (1-a) og (1-c) over seier at viss PRED-elementa projisert av t.d. to verb i verbfrasar er lenkja, kan VP-ane som heilskap lenkjast, i tilfellet i figur 3.2 kan iallfall dei øvste nodane i VP-ane lenkjast, i tillegg til f-strukturane frå PRED til verba. Det er dette at heile VP-ane (kanskje inkludert objekt eller andre argument) er lenkja som gjer det til ei fraselenkje og ikkje berre ei ordlenkje. Punkt (1-a) er forsvart over, medan punkt (1-c) kjem som ein konsekvens av at det er det funksjonelle domenet som spesifiserer informasjonen i f-strukturane, nodane her bør difor lenkjast berre viss f-strukturane er lenkja. Men som punkt (1-c) indikerer finst det au situasjonar der nodar innanfor domena skal stå ulenkja.

[9]Eventuelt kunne me ha definert lenkingskandidatane på f-strukturnivå som alle PRED-haldande f-strukturar, resultatet blir det same.

Alle nodar i c-strukturen (alle syntaktiske *frasar/konstituentar* i setninga) som kan koplast til PRED-haldande f-strukturar, vil vere kandidatar for samanstilling på c-strukturnivå (dette inkluderer diskontinuerlege konstituentar), men ikkje alle vil bli lenkja. I del 3.7 ser eg på kva som må til for å lenkje nodar i det funksjonelle domenet. I tillegg finst det nodar over ord som ikkje projiserer PRED-element, desse kjem eg tilbake til i del 3.7.3.

I følgje punkt (1-b) vil fraselenkja leie til at sjølve verba i to lenkja VP-ar au er lenkja, som tilseier at *ei* PRED*-lenkje impliserer ei ordlenkje*. I visse tilfelle er dette heilt uproblematisk; viss *I slept down by the river* skal lenkjast med *Eg sov nede med elva* vil me uansett lenkje *slept* og *sov*. Dette kan gjelde transitive verb au:

(2) a. The locusts have no king, just noise and hard language
$\leftrightarrow$
b. Grashoppene har ingen konge, berre støy og krasse ord

Her tek *have/har* del i VP-samanstillinga *have no king.../har ingen konge...*. Her skal det au vere uproblematisk å lenkje enkeltorda *have* og *har*.

Men som nemnd treng ikkje ordsamanstillinga vere ein-til-ein, det punkt (1-b) seier er at desse orda iallfall er ein del av ei samanstilling med kvarandre (i døme (2) altså VP-samanstillinga). Kanskje er dette ei mange-til-mange-lenkje som ikkje *kan* reduserast til ein-til-ein-lenkjer; eller kanskje er det som i (2) mogleg å skilje ut delsamanstillingar, som *have/har*. Neste del gir eit døme på dette.

Sidan PRED-lenking impliserer ordlenking, må me sjekke om krava på ordnivå (del 3.5) er oppfylte for å lenkje to PRED-element.

3.5 Krav på ordnivå

Ord som skal lenkjast må i Thunes (2003) vere del av frasar som speler same rolle i det som er felles i interpretasjonane, her kan me omskrive det til at dei må vere del av *frasar som er lenkja på c-strukturnivå*; forholda i (1) gir då koplinga til krav på andre nivå (t.d. vil krav om tildeling av like mange roller vere meir passande å spesifisere på f-strukturnivå).

Det er visse ting me ikkje kan spesifisere ut frå rein c- og f-strukturinformasjon. Den norske setninga *eg vil ete* kan fint samanstillast med *I want to eat*, med ei lenkje mellom *ete* og *eat*. Men kva står i vegen for å lenkje *ete* til hovudverbet i *I want to drink*? Forskjellen på f-strukturnivå er berre at PRED-verdien er ulik ('**eat**' mot '**drink**'). Me må altså ha eit krav om at tydinga til lenkja ord (og deira predikat) er «lik nok» til at me kan sjå på dei som omsetjingar[10]. Dyvik et al. (2009, s. 74) krev at orda generelt, utan kontekst, må vere semantisk plausible omsetjingar, dvs. at målordet er eit medlem av mengda av *linguistically predictable translations* av kjeldeordet. Målordet har då *LPT-korrespondanse* med kjeldeordet. Nedanfor reknar eg LPT-kravet som eit krav på ordnivå, og eg føreset at LPT-informasjonen er ein type bottom-up-informasjon, som viser om to ord generelt (i ulike kontekstar) blir nytta som omsetjingar av kvarandre. Denne informasjonen kan reint praktisk komme frå automatisk ordsamanstilling, eller ei god tospråkleg ordbok, det bør ikkje spele nokon rolle for resten av krava[11].

Ein type presisering/depresisering (del 3.2) som me ofte ser i omsetjingar er at eit pronomen på kjeldespråket blir nytta der målspråket har eit koreferent substantiv, eller omvendt. Dyvik et al. (2009) opnar for at desse au har LPT-korrespondanse (som nemnt i Thunes (2003) må lenkja ord

[10] Eigentleg burde slike setningar ikkje vere lenkja på setningsnivå ein gong, men som me skal sjå i del 3.6.1 treng me kravet om lik tyding sjølv innanfor setninga.

[11] Ein kan au tenkje seg at ei djup semantisk dekomponering av kvart ord sto som grunnlag for LPT-informasjon – men då vil LPT-korrespondanse mellom to ord implisere at orda er synonyme, heller enn generelt plausible omsetjingar.

uansett vere koreferente); om formålet vårt var maskinomsetjing heller enn å byggje ein trebank for lingvistiske studie, ville det nok vore betre å unngå slike lenkjer (Volk et al., 2008, s. 53). Ideelt sett bør me altså sjå på meir enn éi setning for å kontrollere koreferens (implementasjonen min tek ikkje høgd for noko slikt).

Men kva då med lenking av pronomen til verb bøygd for person og tal i pro-drop-språk?

(3) a. iqePa (georgisk)
$\leftrightarrow$
b. han bjeffa

Viss setningane i døme (3) er lenkja, der iqePa har eit pro-argument koreferent med *han* som subjekt, bør dei to subjekta iallfall kunne lenkjast på f-strukturnivå; dei har same referent og speler same rolle i argumentstrukturen til verba (som me går ut frå er lenkja). På ordnivå, derimot, kan me ikkje lenkje *han* til *iqePa* åleine – her må me ha ei mange-til-ein-lenkje mellom {han, bjeffa} og {iqePa}. Generelt må me ha slike lenkjer der eitt ord projiserer fleire PRED-element[12].

3.5.1 Ordklasse

Ulike språk leksikaliserer same konsept på ulike måtar. Cheung et al. (2002, s. 3) nemner vanskane med å ha eit krav om lik ordklasse i utviklinga av ein kinesisk-engelsk termbank, kor t.d. det engelske ordet *fulfilment* meir naturleg blir omsett til eit verb på kinesisk. På same måte vil eit georgisk verbalsubstantiv (*masdar*) gjerne bli omsett til eit verb i infinitiv på norsk. Slike skifte mellom ordklasser er svært vanlege i omsetjing[13].

Me kan opne for ordklasseoverskridande lenkjer der det er samsvar på andre nivå – så om LPT-kravet og krava på c- og f-strukturnivå er fylte, bør det ikkje vere noko i vegen for å lenkje ord (eventuelt mengder av ord) av ulik ordklasse.

3.6 Krav på f-strukturnivå

På f-strukturnivå har me direkte tilgang til informasjon om argumentstrukturen til eit predikat, og mengda av adjunkt som modifiserer predikatet. Når Thunes (2003, s. 3) skriv at to lenkja ord *a* og *b* må opptre i frasar som har «tilstrekkelig like argumentstrukturer til at uttrykkene i *a*s omgivelser står i de samme semantiske relasjonene til hverandre og til *a* som de korresponderende uttrykkene i *b*s omgivelser gjør til hverandre og til *b*» er det difor passande å prøve å gjere dette til eit krav på f-strukturnivå.

Den enklaste lenkingssituasjonen, f-strukturmessig, er der rotpredikata kan lenkjast, og første argument av predikatet på kjeldespråket kan lenkjast til første argument på målspråket, andre argument til andre argument, osb., og lenkinga kan fortsetje slik rekursivt inn i f-strukturane[14]. I ein slik situasjon er det fullstendig samsvar mellom kor mange argument det finst på kvar side, og fullstendig samsvar i det tematiske rollehierarkiet (dvs. kva for posisjon kvar rolle har i argumentstrukturen), i heile strukturen.

Som me skal sjå er det ikkje vanskeleg å komme over situasjonar der dette ikkje held, og me blir nøydt til å tillate lenkjer mellom argument og adjunkt, og lenkjer som går på tvers av følgja i

[12]Me ville au fått ei mange-til-ein-lenkje om me tillot *komplekse predikat* i analysane, t.d. slik Butt (1998) foreslår ved å la kombinasjonen av to ord endre argumentstrukturen til eitt PRED-element.

[13]Catford (1965, i Munday, 2001, s. 61) gir ein gjennomgang av slike *klasseskifte*, og andre typar omsetjingsskifte.

[14]Når eg her skriv *argument*, meiner eg eigentleg alle subkategoriserte ledd, både innanfor og utanfor sjølve argumentlista. I analysen av «eska opna seg» vil *eske* stå innanfor argumentlista, medan refleksiven står utanfor: '**opne**<eske>seg'. Begge er likevel subkategorisert for; begge er kravde av (den tydinga av) predikatet.

argumentstrukturane. I tillegg kan me ikkje klare oss utan LPT-informasjon for å avgjere *når* me har å gjere med slike meir komplekse situasjonar.

3.6.1 Krav om lik argumentstruktur

Thunes (2003) gir som nemnd eit krav om at *predikat må ha tilsvarande semantiske argument* for å lenkjast.

Om det alltid er slik at to predikat har like mange argument, som kjem i same rekkjefølgje i argumentstrukturen, vil det gjere den praktiske oppgåva med å lenkje predikata, og argument med argument, mykje enklare. Men kan me stille så sterke krav?

Sett at eit predikat *p* på kjeldespråket har ei underordna setning som *adjunkt*, medan den tilsvarande underordna setninga på målspråket er eit *argument* av *q* (som på alle andre måtar korresponderer med *p*), og at desse underordna setningane ville vore lenkja om dei opptredde åleine. Om dei uttrykkjer same proposisjon og *speler same rolle i verbsituasjonen*, bør ikkje det at den eine er adjunkt og den andre er argument hindre oss i å lenkje *p* og *q*, eller i å lenkje dei underordna setningane. Om slike situasjonar finst kan me altså ikkje krevje 100 % lik argumentstruktur.

Omsetjingsrelasjonar gir data om verbsituasjonen, på eit meir generelt grunnlag enn det me kan få frå einspråklege analysar åleine. Om me har gode semantiske grunnar for å kalle ein deltakar i ein verbsituasjon eit argument på eitt språk, vil dei same grunnane gjelde for omsetjingsmessig korresponderande verb på andre språk. Ved å tillate litt slinger i argumentstrukturane, kan me få meir empiri om kva for roller som er kravde i ein viss verbsituasjon, uavhengig av korleis desse rollene er uttrykte syntaktisk. Ein kan då nytte unionen over alle argumentlenkjer til korresponderande verb til å karakterisere kva ein meiner med *deltakarane i verbsituasjonen*. Syntaktiske forhold i språket kan sjølvsagt gi grunnar til å *ikkje* kalle ein viss deltakar eit argument.

For å gjere dette konkret kan me sjå på følgjande setning frå test-suiten til Xpar-prosjektet:

(4) abramsi brouns daenajleva sigaretze, rom cvimda
Abrams.NOM Brown.DAT vedde.3SG sigarett.om, at regne.3SG.IMP
'Abrams veddet en sigarett med Brown på at det regnet'

I følgje LFG-parsen til desse setningane har hovudpredikata svært ulik argumentstruktur[15]. Det norske '**vedde**' har fire argument, medan '**da-najleveba**' har to (tilsvarande *Abrams* og *Browne*), kor at-setninga på norsk og *rom cvimda* uttrykkjer same proposisjon og speler same rolle i verbsituasjonen. Den engelske LFG-parsen av den tilsvarande setninga gir tri argument, *with Browne* blir her adjunkt, medan den tyske grammatikken, som au gir tri argument, gjer *at*-setninga til adjunkt (mine omsetjingar). I (5) nedanfor har eg representert dei omsetjingsmessig korresponderande frasane i f-strukturane med dei norske omsetjingane for å illustrere dette:

(5) a. Adams veddet en sigarett med Browne (norsk bokmål)
på at det regnet.

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{'}\mathbf{vedde}\text{<Abrams, sigarett, Browne, regne>'} \\ \text{ADJUNCT} & \{\} \end{bmatrix}$$

b. abramsi brouns daenajleva sigaretze, rom cvimda. (georgisk)

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{'}\mathbf{da\text{-}najleveba}\text{<Abrams, Browne, regne>'} \\ \text{ADJUNCT} & \{\text{sigarett}\} \end{bmatrix}$$

[15] Analysane er henta 18. mai, 2009, frå http://decentius.aksis.uib.no/logon/xle.xml, som implementerer LFG-grammatikkane frå ParGram-prosjektet (Butt et al., 2002).

c. Abrams hat mit Browne um eine Zigarette gewettet, daß es regnet. (tysk)

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\textbf{wetten}\text{<Abrams, regne>'} \\ \text{ADJUNCT} & \{\text{Browne, sigarett}\} \end{bmatrix}$$

d. Abrams bet a cigarette with Browne that it was raining. (engelsk)

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\textbf{bet}\text{<Abrams, sigarett, regne>'} \\ \text{ADJUNCT} & \{\text{Browne}\} \end{bmatrix}$$

Om ein skal ha grammatikkane som datagrunnlag er det altså eit reellt problem kva ein skal gjere med mangel på samsvar i argumentstruktur. Om det alltid var fullstendig samsvar i argumentstruktur, ville det vore trivielt å lenkje argument: viss to korresponderande verb hadde tri argument, ville me lenkja det første med det første, det andre med det andre og det tredje med det tredje. Men om me har analysar som dei over, ser det ut til at me er avhengig av LPT-kravet frå del 3.5 for å avgjere kva for adjunkt og argument som samsvarer.

LPT-kravet blir forresten endå viktigare når det gjeld lenking av adjunkt til adjunkt. Adjunkt plukker ut si eiga rolle (argument får rolla tildelt frå verbet) og f-strukturane ordnar ikkje adjunkt etter nokon rekkjefølgje; dei er representert som uordna mengder, medan følgja mellom argument iallfall potensielt kan nyttast til å indikere semantisk likskap.

Ein kan argumentere for at grammatikkane her *burde* hatt like (eller likare) analysar; dette ville letta lenkingsarbeidet, men sidan stoda no er slik, må krava ta høgd for lenkjer mellom argument og adjunkt. Om seinare utgåver av grammatikkane gir likare analysar, vil det iallfall ikkje gi verre lenkingsresultat.

Og ei enkel korpusundersøking tyder på at det er relativt sjeldan at ein får slike situasjonar som (5) illustrerer. I Unhammer (2009) analyserte eg setningane frå den manuelt frasesamanstilte trebanken SMULTRON (Samuelsson & Volk, 2006) med LFG-grammatikkane for engelsk og tysk i ParGram-prosjektet (Butt et al., 2002), for å undersøkje følgjande hypotese:

> participants in a verbal situation are expressed as arguments (rather than adjuncts) in the source language of a translation if and only if they are expressed as arguments (rather than adjuncts) in the target language.

Mellom anna fann eg at 2 av 15 korresponderande verbtoken hadde LFG-analysar kor argument korresponderte med adjunkt[16]. Her utgjorde altså dei grammatiske analysane (ein del av) data, og undersøkinga seier nok meir om analysane enn om språklege forhold. På et så tynt datagrunnlag kan me vel ikkje konstatere meir enn at me må kunne handtere argument-adjunkt-lenkjer når me prøver å lenkje, men argument-argument-lenkjer bør prioriterast viss alt anna er likt.

3.6.2 Ulik følgje i argumentstruktur

I tillegg til at argument kan lenkjast til adjunkt, kan koreferente argument ha ulik følgje i argumentstrukturen. Det er klart at me vil lenkje objektet til *gefallen* (eller bokmål: *behage*) med subjektet til *like*, og omvendt. Men rekkjefølgje i argumentstrukturane i ParGram-prosjektet er ofte basert på syntaktisk funksjon heller enn rolle, slik at eit verb som har tema som subjekt og opplevar som

[16] 25 om ein inkluderer analysar kor minst eitt av argumenta ikkje hadde korrekt analyse (t.d. eit PRO der grammatikken burde funne eit substantiv).

objekt vil ha tema før opplevar i argumentstrukturen, medan ei omsetjing av dette verbet kan ha opplevar før tema:

(6) a. der Tonfall gefällt mir nicht
$\left[\text{PRED} \quad \text{`}\textbf{gefallen}\text{<Tonfall, ich}_i\text{>'} \ldots\right]$

$\leftrightarrow$

b. jeg liker ikke tonen
$\left[\text{PRED} \quad \text{`}\textbf{like}\text{<jeg}_i\text{, tonen>'} \ldots\right]$

Argumentstrukturane i (6) har omvendt intern følgje. Igjen må me ha LPT-informasjon for å avgjere kva for lenking som er korrekt. Men i visse tilfelle vil ikkje ein gong LPT-informasjon vere nok:

(7) a. sie$_j$ gefallen ihnen$_i$
$\left[\text{PRED} \quad \text{`}\textbf{gefallen}\text{<de}_j\text{, de}_i\text{>'}\right]$

$\leftrightarrow$

b. de$_i$ liker dem$_j$
$\left[\text{PRED} \quad \text{`}\textbf{like}\text{<de}_i\text{, de}_j\text{>'}\right]$

Det finst ingen f-strukturinformasjon eller LPT-informasjon me kunne nytta til å sikre den korrekte lenkinga *sie/dem* og *ihnen/de*; og viss me rangerer lik argumentstruktur over ulik, vil me her få feil resultat. Det me *kan* gjere (utanom å endre grammatikkane slik at argumentstruktur korresponderer med eit universelt tematisk rollehierarki) er å sjå på mange lenkingar av same verbpar, og på den måten oppdage moglege feil. For enkelttilfelle, derimot, vil krava i denne oppgåva ikkje vere nok til å gi korrekt lenking av analysane i (7).

3.6.3 Krav om argumentlenkjer

Sjølv om me ikkje krev lik følgje i argumentlenkjer, og tillèt argument-adjunkt-lenkjer, er det eit minstekrav for å lenkje to PRED-element at alle argumenta til det eine PRED-elementet kan korrespondere med argument eller adjunkt av det andre PRED-elementet. Dette følgjer av formålet med å finne ut korleis ulike språk realiserer ulike semantiske roller syntaktisk; om eit verbargument ikkje kan lenkjast til noko i omsetjinga (ikkje ein gong eit pro-element), er det usannsynleg at verba uttrykker same situasjon, og tildeler same roller. På same måte må sjølvsagt lenkja predikat ha LPT-korrespondanse. Dyvik et al. (2009, s. 75) gir følgjande krav på f-strukturnivå[17]:

(8) Krav for lenking av to PRED-element p og q:
- a. ordformene til p og q har LPT-korrespondanse
- b. alle argument av p har LPT-korrespondanse med eit argument eller adjunkt av q
- c. alle argument av q har LPT-korrespondanse med eit argument eller adjunkt av p
- d. LPT-korrespondansane kan lenkjast ein-til-ein
- e. ingen adjunkt til p er lenkja til f-strukturar utanfor q, og omvendt

Det (8-d) seier er at me ikkje lenkjar t.d. to instansar av «hest» på det eine språket til éin instans av «horse» på det andre. Krav (8-e) kjem eg tilbake til nedanfor.

[17] Med eit unntak for adposisjonsobjekt som eg kjem tilbake til i del 3.6.4.

Det går an å gjere (8) strengare, og krevje at argumenta – i tillegg til å ha LPT-korrespondanse – sjølv er PRED-lenkja. Dette har eg ikkje gjort i implementasjonen min, men det er mogleg å ha det som eit rangeringskriterium, noko eg kjem tilbake til i del 3.8. Ved å *ikkje* krevje at lenkinga går heilt til botn i f-strukturen blir det mogleg å seie at *setningane* er syntaktisk like, og at kanskje visse overordna frasar er syntaktisk like, men visse *delfrasar* kan likevel vere ulike og dimed ikkje vere lenkja.

Koordineringar har ikkje eit PRED-trekk, men me handsamar dei som om dei hadde det. Alle dei koordinerte elementa er i ei *mengd* i f-strukturen til koordineringa, og det er sjølvsagt ønskeleg å lenkje desse elementa om dei korresponderer:

(9) Ved lenking av f-strukturane til to koordineringar p og q, sjå på dei som om elementa i mengdene var argument til eit PRED-element, kor «argumentfølgja» er basert på setningsposisjon; p og q kan då lenkjast om dei oppfyller krav (8).

Argumentfølgje speler berre ei rolle i rangering, som eg kjem tilbake til i del 3.8.

Kva med f-strukturomgivnadene til p og q, skal me krevje at dei er like? I (8-e) har me eit krav om at adjunkt til p ikkje er lenkja til f-strukturar utanfor q, og omvendt. Men viss a_p er eit adjunkt til p, kan det lenkjast til ein *dotternode* av argument eller adjunkt til q? La a_q vere eit argument eller adjunkt til q, viss a_q er eit argument må det ved (8) ha LPT-korrespondanse med argument/adjunkt i p, men det treng ikkje vere lenkja – viss det er ulenkja gjeld ikkje krav (8) for a_q, så (8) hindrar ikkje ei lenkje mellom a_p og døtre av a_q.

I tillegg vil ikkje (8) hindre at t.d. den yttarste f-strukturen i kjeldespråket er lenkja til eit XCOMP-argument på målspråket; men i dette tilfellet bør kanskje ikkje *setningane* vere lenkja i utgangspunktet.

Sjølv om det er logisk mogleg å gjere slike lenkingar, er det vanskeleg å finne ikkje-vilkårlege avgrensingar for når ein skal kunne lenkje f-strukturar som står i ulike omgivnader. I implementasjonen min har eg difor følgt eit strengare krav enn (8-e):

(10) PRED-elementa p og q kan berre lenkjast om dei er yttarste f-strukturar i lenkja setningar, eller er argument/adjunkt til lenkja f-strukturar.

Dette er ei tentativ formulering. Til no har eg ikkje sett døme som eintydig viser at (10) ikkje bør gjelde, men om det finst slike døme bør sjølvsagt kravet modifiserast. Sidan LFG tillèt fragmentariske analysar kan det vere *fleire* yttarste f-strukturar, alle desse kan då potensielt lenkjast med kvarandre, eller stå ulenkja (som om dei var adjunkt av eit predikat som sto utanfor dei).

Krav (8) og (10) bør i enkle situasjonar vere tilstrekkelege for lenking på f-strukturnivå, men det finst au meir komplekse korrespondansar mellom PRED-element. Desse ser eg på del 3.6.5.

3.6.4 Adposisjonsobjekt og ignorerte predikat

I setningsparet i (4) har me eit objekt *sigarett* som svarer til PP-en *sigaretze* (*sigareti* + *ze*), som i (11) nedanfor:

(11) a. $\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\mathbf{sigarett}\text{'} \end{bmatrix}$

$\leftrightarrow$

b. $\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\mathbf{ze}\langle \boxed{1} \rangle\text{'} \\ \text{OBJ} & \boxed{1} \begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\mathbf{sigareti}\text{'} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$

Medan '**sigarett**' er argument til '**vedde**', står det ein adposisjon mellom '**sigareti**' og '**da-najleveba**'. I følgje krav (8) må me ha LPT-korrespondanse mellom '**sigarett**' og eit argument eller adjunkt av '**da-najleveba**' for å lenkje '**vedde**' og '**da-najleveba**'; det har me ikkje – det står ein adposisjon i vegen.

Éi løysing ville vore å mange-mange-lenkje '**sigarett**' med '**sigareti**' og '**ze**' – men dette gir ei misvisande lenkje, sidan '**sigarett**' ikkje bidreg med noko som tilsvarer den (syntaktiske) informasjonen som er gitt av '**ze**'.

Løysinga valt i Dyvik et al. (2009, s. 75, fotnote 3), som eg følgjer i implementasjonen, er å berre hoppe over slike adposisjonar. Ved lenking av '**vedde**' og '**da-najleveba**' ser me då på f-strukturane i (11) som om dei var som i (12) nedanfor.

(12) a. $\left[\text{PRED} \quad \text{'}\mathbf{sigarett}\text{'}\right]$

$\leftrightarrow$

b. $\left[\text{PRED} \quad \text{'}\mathbf{sigareti}\text{'}\right]$

Dette må ein altså ha i mente når ein følgjer krav (8). I neste del diskuterer eg kva me kan gjere i dei situasjane der det ikkje er mogleg å berre hoppe over mellomliggande element.

3.6.5 Kausativar, inkorporering og mange-mange-lenkjer

Til no har me føresett at eit PRED-element anten er ulenkja, eller er lenkja til eitt og berre eitt anna PRED-element. Men i visse tilfelle kan det vere ønskeleg å lenkje til fleire PRED-element.

I ein norsk *la*-konstruksjon, t.d. den me har i «å la noko fryse» (i tydinga «å forårsake at noko frys til») har me semantiske bidrag frå både *la* og hovudverbet *fryse*, og begge har PRED-element (sjølv om bidraget frå *la* nok er meir «grammatisk»). Men slike perifrastiske konstruksjonar kan gjerne omsetjast til leksikaliserte kausativar som berre har eitt PRED-element, men likevel med tydinga «å la fryse». Påfunnet i (13) illustrerer denne situasjonen:

(13) a. me lèt-fryse huset

$\left[\text{PRED} \quad \text{'}\mathbf{la\text{-}fryse}\text{<me, hus>}\text{'}\right]$

$\leftrightarrow$

b. me lèt huset fryse

$$\left[\begin{array}{ll} \text{PRED} & \text{'}\mathbf{la}\text{<me, hus, }\boxed{1}\text{>}\text{'} \\ \text{XCOMP} & \boxed{1}\left[\text{PRED} \quad \text{'}\mathbf{fryse}\text{<hus>}\text{'}\right] \end{array}\right]$$

Her er altså den kausative tydinga leksikalisert, og verbet har berre eitt PRED-element (på same måte som det norske verbet *kjøle* berre har eitt PRED-element, ikkje '**la**' + '**bli kald**').[18]

Den same situasjonen får me der eit argument eller adjunkt er inkorporert i verbet på det eine språket, men uttrykt som eit separat predikat på det andre språket, t.d. samisk *fierpmástallat* som på norsk kan bli *å fiske med garn* – to predikat på norsk tilsvarer eitt på samisk.

I (13) har '**la-fryse**' to argument; ved krav (8) må begge argument finne korresponderande argument eller adjunkt for å lenkje '**la-fryse**'. Då går det ikkje an å lenkje '**la-fryse**' til berre

[18]Det går sjølvsagt an å analysere sjølv leksikaliserte kausativar som om dei har fleire PRED-element, men det bør i såfall skje på uavhengig grunnlag, ikkje for å gjere lenkinga enklare.

‘**fryse**’, som har eitt argument; me får eit SUBJ til overs som manglar lenkje. Me kan heller ikkje lenkje berre ‘**la**’ til ‘**la-fryse**’, sidan det då får ein XCOMP til overs.

Det er mogleg å løyse dette formelt ved ei mange-mange-lenkje, kor ein tenkjer seg ‘**la**’ og ‘**fryse**’ som samanføyd og at dei deler argumentlister. Sidan begge verba tilfører viktig semantisk informasjon, som er reflektert i den leksikaliserte kausativen, ville det ikkje vore ønskeleg med ei ein-til-ein-lenkje sjølv om ein såg vekk frå problemet med å lenkje argumenta.

Ved å ha ei ein-mange-lenkje, frå ‘**la-fryse**’ til både ‘**la**’ og ‘**fryse**’, kan me oppfylle krav (8). Då treng ikkje XCOMP-argumentet lenkjast til eit argument av ‘**la-fryse**’, det er allereie lenkja til PRED-elementet; det som står igjen er unionen av argumenta til ‘**la**’ og ‘**fryse**’, desse må alle ha LPT-korrespondanse med argument eller adjunkt av ‘**la-fryse**’, og omvendt må alle argument av ‘**la-fryse**’ ha LPT-korrespondanse med argument eller adjunkt av ‘**la**’ eller ‘**fryse**’ (utanom XCOMP-argumentet til ‘**la**’, som allereie har ei lenkje). Ein kan tolke dette som om ‘**la**’ og ‘**fryse**’ var samanføyd til eitt predikat som kravde to argument (her: ‘**ho**’ og ‘**huset**’).

Den einaste formelle forskjellen mellom dette og substantivinkorporering blir då at substantivet ikkje krev eigne argument. Det er au mogleg å tenkje seg ein kausativ med eit inkorporert objekt, omsett til ‘**la**’ + hovudverb + objekt, altså ei lenkje frå eitt PRED til tri PRED. Igjen vil me då sjå på dei resterande ulenkja argumenta på kvar side; kvar av desse må lenkjast med eit unikt argument eller adjunkt. Ein meir ordinær situasjon er der det eine språket har eit hjelpeverb, medan den same informasjonen er morfologisk uttrykt på det andre språket.

Det bør kanskje vere grenser for kor langt slik samanføying kan gå. Ein grunn er at problemet fort blir komputasjonelt vanskeleg. Å opne for ein-mange-lenkjer mellom PRED-element (eller til og med mange-mange-lenkjer) gir ei mykje større mengd moglege løysingar på lenkingsproblemet; i alle situasjonar der me krev LPT-korrespondanse mellom eit argument a_p av p og eit adjunkt a_q av q for å lenkje p og q, vil me no au ha ei mogleg løysing der a_q er ulenkja, medan a_p er samanføyd med p og difor ikkje treng LPT-korrespondanse med argument/adjunkt av q. Så kan det au hende at a_p sjølv kan samanføyast med eit av sine argument/adjunkt. Skal me sjå etter slike løysingar samtidig som me ser etter løysingar med ein-ein-lenkjer, vil me måtte leite gjennom mange ufruktbare stigar. Ein måte å unngå dette på er å nedprioritere samanføying, og berre prøve dette der det ikkje finst andre alternativ.

Men det er ikkje berre av omsyn til implementasjonen ein bør nedprioritere samanføying. Ei ein-mange-lenkje tyder på ein type omsetjingsskifte, og det er ønskeleg å først sjå etter samanstillingar som føreset syntaktisk likskap, før ein ser etter omsetjingsskifte. Den viktigaste informasjonen me har å gå på er at setningane er omsetjingar og difor har ein viss likskap – Ockhams barberkniv gir oss då grunn til å velje ei løysing som føreset lik syntaks over ei løysing som føreset ulik syntaks. Viss det er mogleg å opprette ei samanstilling på bakgrunn av lik syntaks, vil me prioritere denne.

I implementasjonen blir difor alle ein-til-ein-lenkjer prøvd først. Sidan kan ein prøve å føye saman eit ulenkja PRED-element p med eit ulenkja PRED-element a_p kor a_p er argument eller adjunkt av p, og der p og a_p vil kunne lenkjast med eit ulenkja PRED-element q ved føringane gitt over, og alle dei andre lenkingskrava er dekkja. Me får då ei modifisert utgåve av krav (8):

(14) Krav for samanføyd lenking frå PRED-elementa p og a_p, kor a_p er eit argument eller adjunkt av p, til PRED-elementet q:

- a. ordformene til p og a_p har saman LPT-korrespondanse med ordformen til q
- b. la A vere unionen av argument til p og argument til a_p, utanom a_p sjølv; alle element av A har LPT-korrespondanse med eit argument eller adjunkt av q
- c. la D vere unionen av argument eller adjunkt til p og argument eller adjunkt til a_p, utanom a_p sjølv; alle argument av q har LPT-korrespondanse med eit element av D
- d. LPT-korrespondansane er ein-til-ein
- e. ingen adjunkt til p eller a_p er lenkja til f-strukturar utanfor q, og ingen adjunkt til q er

lenkja til f-strukturar utanfor p

Det er trivielt å utvide dette kravet til å fungere for mange-mange-lenkjer au; men til no har eg ikkje komme over situasjonar som krev meir enn ein-mange/mange-ein-lenkjer, og implementasjonen min held seg til desse for no.

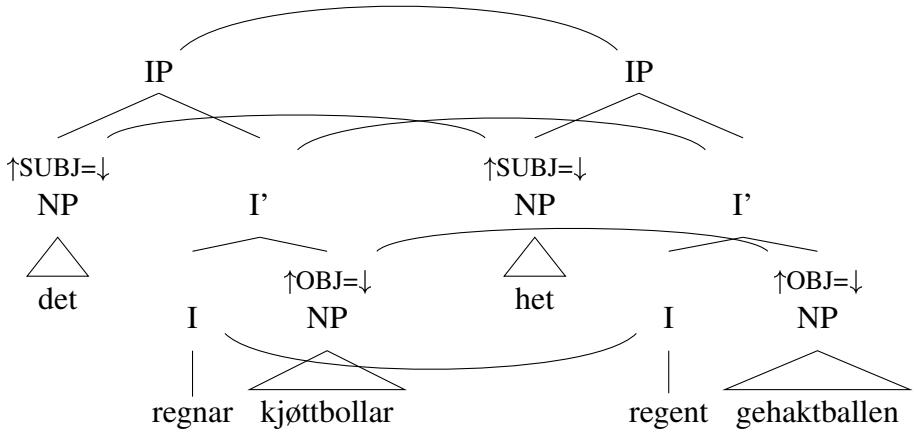
3.7 Krav på c-strukturnivå

Ein f-struktur er projisert av ei mengd c-strukturnodar, det vil seie at det er desse nodane – det funksjonelle domenet til f-strukturen – som spesifiserer informasjonen som står i f-strukturen. Viss me har grunnlag for å lenkje to f-strukturar, vil me au ha grunnlag for å lenkje nodane som projiserte desse f-strukturane. Og omvendt vil det aldri vere grunnlag for å ha ei c-strukturlenkje som står i konflikt med f-strukturlenkjer, dvs. kor ϕ av kjeldenoden er lenkja til noko anna enn ϕ av målnoden (då burde kjeldenoden vore lenkja til dette andre). Det at to nodar er lenkja på c-strukturnivå må i det minste implisere at informasjonen dei projiserer korresponderer. I utgangspunktet me iallfall bør krevje følgjande:

(15) to c-strukturnodar n_s og n_t kan berre lenkjast om $\phi(n_s)$ og $\phi(n_t)$ er lenkja på f-strukturnivå

Det enklaste ville vere å berre seie at alle nodane i dei to funksjonelle domena er mange-mange-lenkja med kvarandre, men denne lenkja vil ikkje gi oss meir informasjon enn at sjølve f-strukturane er lenkja; ei lenkje på c-strukturnivå bør kunne gi meir nyansert informasjon, kanskje til og med avgrense moglege f-strukturlenkjer.

Det viktige forholdet på c-strukturnivå er *dominans*; hovudgrunnen til at me snakkar om c-struktur er at me vil skildre den hierarkiske inndelinga av frasestrukturen i setninga, der ein node på høgare nivå *dominerer* mengder av nodar på lågare nivå. Ei lenkje mellom to c-strukturnodar må altså implisere at det dominerte materialet korresponderer.



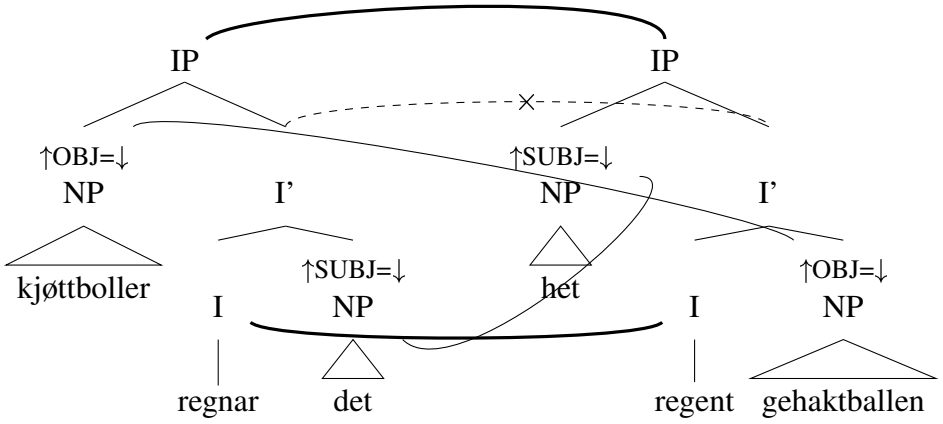
Figur 3.3: Enkel lenking av c-strukturnodar mellom nynorsk og nederlandsk; IP til IP, I' til I' og I til I.

I figur 3.3 er dei funksjonelle domena til *regnar/regent* lenkja[19], og det same med *det/het* og *kjøttbollar/gehaktballen*. Viss me føreset at subjekt-NP-ane er lenkja med kvarandre, og at objekt-NP-ane er lenkja med kvarandre, på c-strukturnivå, vil det vere ønskeleg å ein-ein-lenkje IP-nodane, I'-nodane og I-nodane. Me skal sjå kvifor.

[19] I desse trea har eg annotert f-strukturforhold på visse nodar; der eg ikkje har teikna inn dette gjeld ↑=↓, altså at noden er i same funksjonelle domene som mornoden. Eg har i tillegg forenkla kategorinamna ein del frå dei som kjem direkte frå ParGram/Xpar-analysane; det bør ikkje ha noko å seie for framstillinga her.

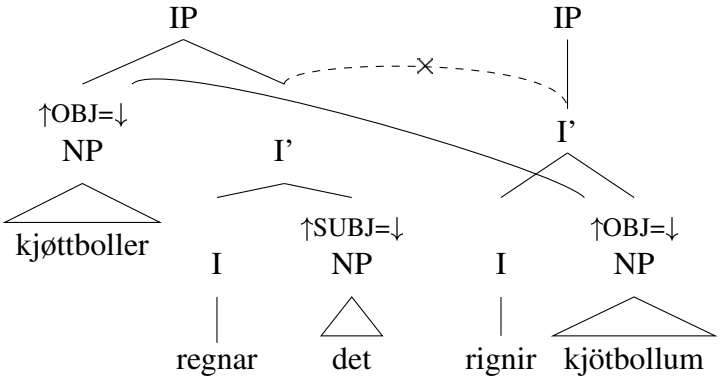
IP-nodane bør lenkjast sidan dei dominerer alt innanfor dei lenkja funksjonelle domena; det finst ikkje ein gong nodar som står utanfor det dei dominerer. Dei nodane som står nedanfor det funksjonelle domenet til IP-ane er i tillegg lenkja med kvarandre. Det vil seie at det ikkje finst informasjon på kjeldespråket som ikkje er uttrykt på målspråket (eller omvendt) innanfor det IP-ane dominerer.

I'-nodane dominerer ikkje subjekta i figur 3.3. Ei lenking av I'-nodane impliserer at det som står under desse korresponderer, men au at nodane står i liknande omgivnader. Det er lett å sjå føre seg eit døme der det ikkje ville vore ønskeleg med ei lenkje mellom I'-nodane. I figur 3.4 vil me t.d. ikkje lenkje desse nodane; på norsk dominerer I' subjektet, som er lenkja til subjektet på nederlandsk, men på nederlandsk står ikkje subjektet under I', og omvendt for objektet[20]. Ei lenkje mellom I'-nodane ville sagt at nodane dei dominerte projiserte korresponderande informasjon, det gjer dei ikkje i figur 3.4. (I 3.3, derimot, står dei lenkja objekta under I', medan dei lenkja subjekta er utanfor.) Men merk at IP-nodane likevel kan lenkjast, dei dominerer begge både subjekt og objekt, sjølv om dei kjem i ulik følgje under. I-nodane dominerer berre verba, og kan au lenkjast.



Figur 3.4: c-strukturlenkjer kan ikkje gå på tvers av dominerte lenkjer (nynorsk og nederlandsk)

Sjølv om subjektet sto ulenkja, t.d. ved lenking inn i eit pro-drop-språk eller liknande, ville me fått same situasjon; I'-nodane i figur 3.5 kan ikkje lenkjast sidan I' på islandsk dominerer objektet, medan I' på norsk ikkje gjer dette, og objekta er lenkja med kvarandre (her både på c- og f-strukturnivå). Ei lenkje mellom desse I'-nodane ville sagt at dei dominerer korresponderande materiale, men det gjer dei ikkje.



Figur 3.5: c-strukturlenkjer kan ikkje gå på tvers av dominerte lenkjer (nynorsk og islandsk)

[20]Me kunne hatt inversjon på nederlandsk au, då ville ei I'-lenkje vore mogleg.

Når treet deler seg i to som i desse figurane, får me ei mogleg oppdeling av kjeldene til f-strukturinformasjonen. Me vil ikkje lenkje nodar som ikkje gir same tilskot til f-strukturen, på same måte som me ikkje vil lenkje på tvers av f-strukturlenkjer.

I både figur 3.4 og figur 3.5 er det slik at det I'-nodane dominerer gir ulike tilskot til f-strukturen, dei kan difor ikkje lenkjast. Likevel må me tillate litt slingringsmon her, nodane skal ikkje trenge projisere heilt like f-strukturar. Det som er relevant er det som blir lenkja i f-strukturen.

Som desse døma viser må me nyansere prinsippet om å ikkje lenkje c-strukturnodar på tvers av f-strukturlenkjer, til å ta innover seg dominans: me vil ikkje lenkje c-strukturnodar viss *det dei dominerer* kjem i konflikt med f-strukturlenkjer.

I visse tilfelle kan det hende at sjølv toppnodane i det funksjonelle domenet ikkje bør lenkjast. I døma over dominerer toppnoden i det funksjonelle domenet, IP, alt som står under $\phi(IP)$ i f-strukturen. I figur 3.6, derimot, er objektet til *regna* ikkje dominert av toppnoden i det funksjonelle domenet til *regna*, VP-en; men det er lenkja til objektet til *rained*, som *er* dominert av *rained*. F-strukturane til dei to VP-ane er lenkja, men toppnodane i dei funksjonelle domena kan ikkje lenkjast sidan dei to toppnodane dominerer materiale som inneheld ulike lenkjer på f-strukturnivå – ei slik c-strukturlenkje ville stått i konflikt med f-strukturlenkjene. Intuitivt synest det au feil med ei lenkje mellom konstituentane *det regner* og *it rained meatballs*. Dei kan iallfall ikkje reknast som omsetjingar av kvarandre åleine; i ein større kontekst kan dei inngå i ein korrespondanse, men denne større konteksten har me jo lenkja allereie ved IP-nodane.

I det minste bør me difor krevje følgjande av lenkjer på c-strukturnivå:

(16) Ein node n_s kan lenkjast med ein node n_t berre viss:

a. $\phi(n_s)$ er lenkja på f-strukturnivå med $\phi(n_t)$, og
b. det ikkje finst nodar under n_s som er lenkja med nodar utanfor det funksjonelle domenet til n_t, og
c. det ikkje finst nodar under n_t som er lenkja med nodar utanfor det funksjonelle domenet til n_t.

Men, kva om det finst nodar under n_s som ikkje er lenkja på c-strukturnivå (kanskje fordi det ikkje finst tilsvarande nodar på målspråket, t.d. ved lenking inn i pro-drop-språk), men som har ei lenkje på f-strukturnivå? Her finst det fleire alternative løysingar, som eg ser på nedanfor.

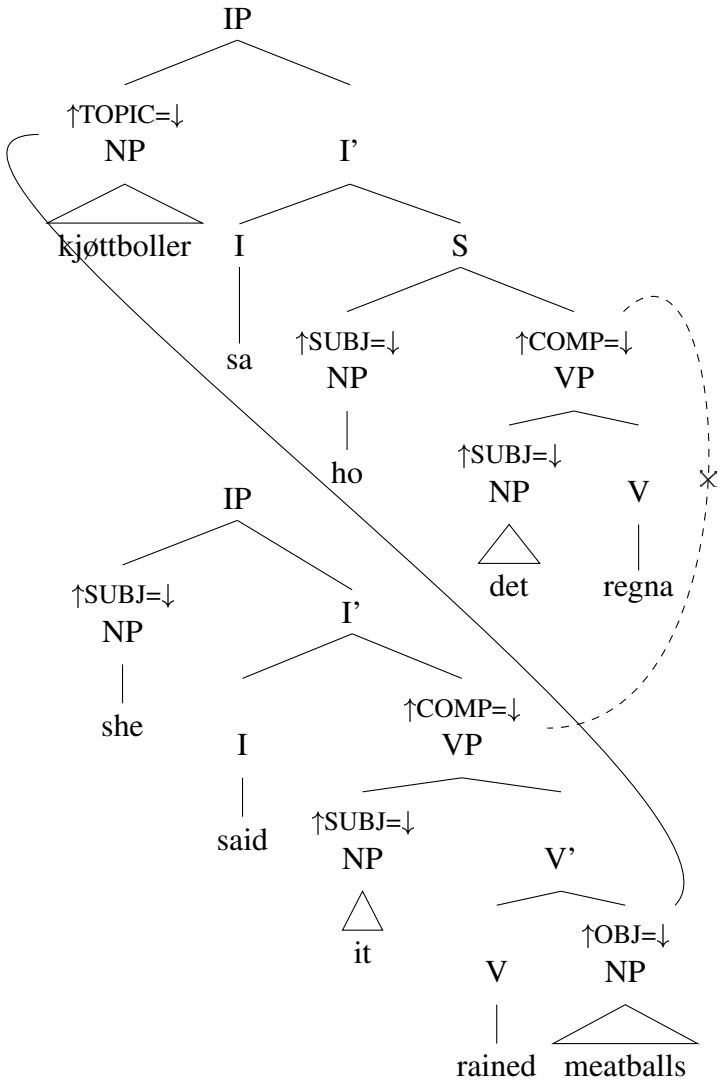
3.7.1 Lenkja f-strukturar utan c-strukturnodar

I figur 3.7 kan iallfall IP-nodane lenkjast, dei dominerer alle orda på begge setningane, og f-strukturane er lenkja. Men NP-subjektet på den norske sida, er ikkje lenkja med noko i det georgiske treet; dette subjektet er lenkja med eit pro-element på f-strukturnivå. Den informasjonen (her reint syntaktisk) som ordet *det* tilfører IP, ligg under I' på georgisk. Ved I-nodane manglar det norske treet i tillegg den informasjonen som *seg* tilfører.

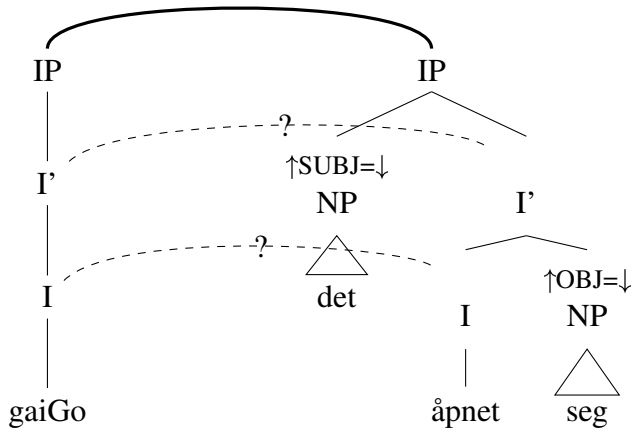
Hadde det georgiske treet hatt spesifikator og komplement som kunne lenkjast til spesifikator og komplement på norsk, ville det ha vore uproblematisk å lenkje I' og I. Men om me berre har krav (16) å halde oss til, er det uspesifisert kva me skal gjere i ein situasjon kor nodar lenkja på f-strukturnivå ikkje er lenkja på c-strukturnivå.

Det finst (iallfall) to alternativ.

Det eine alternativet er å seie seie at I- og I'-nodane ikkje skal lenkjast, sidan *det* og *seg* er lenkja på f-strukturnivå (til subjekt og objekt av gaiGo), då tolker me det slik at I' og IP dominerer ulikt lenkja materiale. Det at det *ikkje* finst ei lenkje mellom I'-nodane, men mellom IP-nodane, vil då opplyse oss om at I'-nodane dominerer ulike f-strukturlenkja informasjonstilskot på dei ulike språka; likeins for I-nodane. Eg kjem tilbake til korleis ein kan formalisere dette kravet i del 3.7.2.

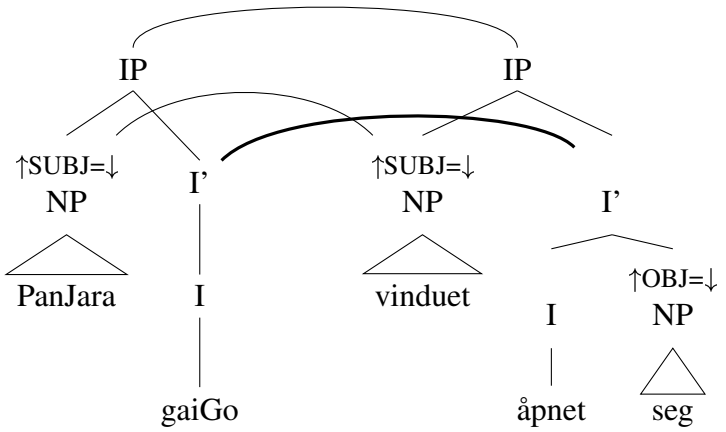


Figur 3.6: Sjølv toppnodane i eit funksjonelt domene kan stå ulenkja; her kan ikkje VP-nodane lenkjast sidan det norske TOPIC er objektet til *regna*, lenkja til objektet under VP på engelsk



Figur 3.7: Skal ulenkja søsternodar hindre lenking? (Georgisk og bokmål)

Det andre alternativet er å ikkje gjere forskjell på IP, I' og I når det gjeld c-strukturlenkinga. Grunnen til å gjere dette er at *gaiGo* både kan korrespondere med heile frasen *det åpnet seg*, men au med berre *åpnet seg*. I figur 3.8 ser me t.d. at I'-nodane kan lenkjast (utan å sjå på anna enn krav (16)), det vil altså vere mogleg å lenkje I'-nodane i andre omgivnader. Det finst ein slag dobbeltheit mellom korrespondansen *gaiGo-det åpnet seg* og korrespondansen *gaiGo-åpnet seg* og me kan uttrykkje dette ved å ikkje gjere forskjell på IP og I' i figur 3.7 (Dyvik 2010, p.k.).



Figur 3.8: Delvis mogleg lenking av underordna c-strukturnodar mellom georgisk og bokmål

Dyvik et al. (2009, s. 77) definerer i denne samanhengen omgrepet *lenkja leksikalske nodar*, *LL*, kor $LL(n)$ er mengda av nodar dominert av n som har ei ordlenkje. For å lenkje c-strukturnodane n_s og n_t, som er i lenkja funksjonelle domene, må alle nodane i mengda $LL(n_s)$ vere lenkja til nodar i $LL(n_t)$. Ulenkja nodar under n_s og n_t står ikkje i vegen for lenking av n_s og n_t, men dei to mengdene kan ikkje vere tomme.

Dette kravet gjer at ein ikkje treng krav (16), og vil gi ei mange-mange-lenkje mellom alle nodane i dei to funksjonelle domena til *gaiGo-åpnet* i figur 3.7. Viss me skriv ei f-strukturlenkje som eit ordna par mellom PRED-verdien på kjeldesida (georgisk, med subskript $_s$) og PRED-verdien på målsida (norsk, med subskript $_t$) får me $LL(IP_s) = LL(I'_s) = LL(I_s) = \{(\textbf{ga-Geba}, \textbf{åpne})\} = LL(IP_t) = LL(I'_t) = LL(I_t)$ kor *det* og *seg* er ulenkja på både c-strukturnivå og ordnivå[21].

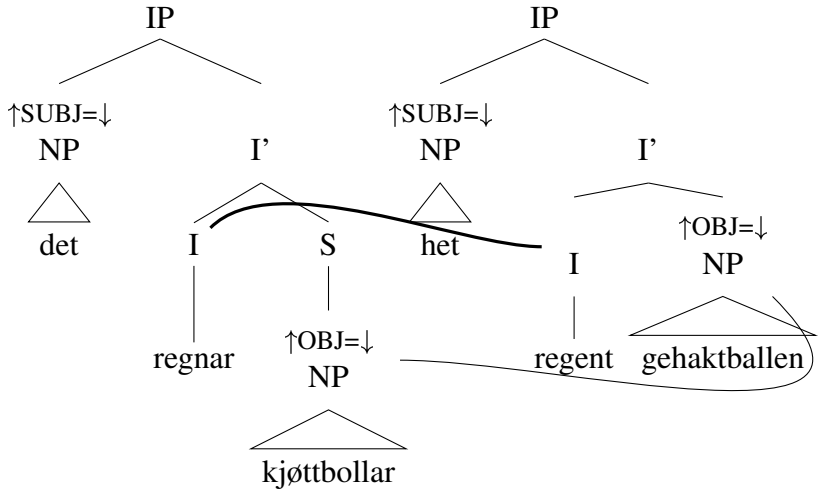
3.7.2 Eit strengare lenkingskriterium

Det er mogleg å ønskje å ikkje lenkje dei norske I'- og I-nodane i 3.7. Dette gir eit strengare lenkingskriterium på c-strukturnivå, kor ein reknar *det* og *seg* for å vere uttrykt i ordet *gaiGo*, sidan ordet står åleine i omsetjinga. Tolka slik kan ein – i denne konteksten, eller mangelen på meir kontekst – ikkje lenkje *åpnet* åleine med *gaiGo*. Eg gir her ein måte å formalisere dette ønsket på.

For å tillate lenkjene i figur 3.3, men ikkje dei stipla lenkjene i figur 3.7, ville det vore nok å krevje at søsternodane var lenkja. I figur 3.3 kan I-nodane lenkjast fordi objekta er lenkja, I'-nodane fordi subjekta er lenkja. I figur 3.7 kan dei norske I'- og I-nodane ikkje lenkjast med noko fordi søstrene deira ikkje er lenkja. Men dette blir for strengt. Det kan t.d. vere gode uavhengige grunnar til å ha ein mellomliggande S-node før objektet på norsk, kor S er i same funksjonelle domene som IP, medan det kanskje finst uavhengige grunnar for å *ikkje* gjere dette på andre språk. Figur

[21] Merk at orda *det* og *seg* måtte definerast som ulenkja for at denne definisjonen skulle fungere, noko som krev at ein nyanserer krav (1-b) litt. Viss me hadde definert *det* og *seg* som mange-ein-lenkja (med *åpnet*) inn i *gaiGo*, ville me fått same resultat som det krav (17) i del 3.7.2 gir. Viss georgisk er kjeldespråket (n_s, norsk: n_t) blir $LL(IP_s) = LL(I'_s) = LL(I_s) = \{(\text{gaiGo}, \text{det}), (\text{gaiGo}, \text{åpnet}), (\text{gaiGo}, \text{seg})\} = LL(IP_t)$. Mengdene $LL(I'_t) = \{(\text{gaiGo}, \text{åpnet}), (\text{gaiGo}, \text{det})\}$ og $LL(I_t) = \{(\text{gaiGo}, \text{åpnet})\}$ på den norske sida har då ikkje korresponderande mengder på georgisk og blir ikkje lenkja.

3.9 demonstrerer denne situasjonen. Her kan ikkje S lenkjast til objektet sidan dei ikkje er i same funksjonelle domene, men me vil jo likevel lenkje I-nodane; så eit krav om lenkja søsternodar blir for strengt.



Figur 3.9: I-nodane bør lenkjast sjølv om søsternodane ikkje er lenkja (norsk og nederlandsk)

Me treng altså eit litt meir nyansert krav. Som nemnt i fotnote 21 går det an å få til dette ved ein kombinasjon av konseptet om lenkja leksikalske nodar og å krevje at orda *det*, *åpnet* og *seg* i figur 3.7 er mange-mange-lenkja på ordnivå til *gaiGo*, sidan dei er lenkja til subjekt, predikat og objekt av *gaiGo* på f-strukturnivå.

Men viss me vil unngå å referere til ordlenkjer, går det au an å definere kravet i form av f-strukturlenkjer på preterminale nodar[22]:

(17) For å lenkje c-strukturnodane n_s og n_t:
La $l_c(f)$ vere mengda som inneheld f-strukturlenkja til f, *og* f-strukturlenkjene til alle argument a av f som ikkje har c-strukturnodar, dvs. kor $\phi^{-1}(a) = \emptyset$. La $L_c(n)$ vere mengda av $l_c(\phi(n'))$ for alle f-strukturlenkja preterminale n' som er dominert av n. Då kan n_s og n_t lenkjast om $L_c(n_s) = L_c(n_t)$.

I figur 3.8 har me då følgjande situasjon:

$L_c(IP_s) = \{(\textbf{PanJara}, \textbf{vindu}), (\textbf{ga-Geba}, \textbf{åpne}), (\textbf{pro}, \textbf{seg})\} = L_c(IP_t)$
$L_c(I'_s) = \{(\textbf{ga-Geba}, \textbf{åpne}), (\textbf{pro}, \textbf{seg})\} = L_c(I'_t)$
$L_c(I_s) = \{(\textbf{ga-Geba}, \textbf{åpne}), (\textbf{pro}, \textbf{seg})\} \neq \{(\textbf{ga-Geba}, \textbf{åpne})\} = L_c(I_t)$

Dette vil seie at krav (17) gir lenkjer mellom IP-nodane og I'-nodane, men ikkje mellom I-nodane. I figur 3.7 vil ikkje ein gong I'-nodane få ei lenkje, sidan den norske I'-node dominerer:

$\{(\textbf{ga-Geba}, \textbf{åpne}), (\textbf{pro}, \textbf{seg})\}$

Den georgiske I'-noden, derimot, dominerer det same som IP-nodane:

$\{(\textbf{pro}, \textbf{det}), (\textbf{ga-Geba}, \textbf{åpne}), (\textbf{pro}, \textbf{seg})\}$

[22]Då kan me au representere mange-til-mange-ordlenkjer som «udelelege», ({gaiGo},{det,åpnet,seg}) blir den einaste ordlenkja i dømet over, sidan me ikkje må samanlikne ordlenkjene frå IP_t, I'_t og I_t, men berre f-strukturlenkjene.

Merk at om me omdefinerer $l_c(f)$ til å ikkje innehalde f-strukturlenkjer til argument av a, vil krav (17) gi same c-strukturlenkjer som kravet frå Dyvik et al. (2009), men definert i form av f-strukturlenkjer på preterminale nodar, i staden for ordlenkjer.

3.7.3 Funksjonelle c-strukturnodar

Ikkje alle ord tilsvarer PRED-element i f-strukturen, dette gjeld typisk funksjonsord (t.d. *som*, *at*). Ved endosentrisitetsprinsippa til Bresnan (2001) er komplementet til funksjonelle kategoriar (C, I, P) ein funksjonell ko-kjerne, det er altså komplementet som gir PRED-elementet i dette funksjonelle domenet.

Problemet med å nytte krava nemnt over i dette tilfellet er at nodar over funksjonsord er i det same funksjonelle domenet som komplementet, og nodane over funksjonsorda tilføyer ikkje ei ny PRED-lenkje som kan dele opp treet slik me gjorde tidlegare. Så viss me vil lenkje desse nodane må me utvide prinsippa for å dele opp c-strukturtreet i buntar som dominerer same mengd med lenkjer.

Ord som ikkje projiserer PRED-lenkjer kan likevel tenkjast å ha LPT-korrespondanse og bestå krava på ordnivå, men når me skal lenkje desse på c-strukturnivå må me då sjekke ordkrava direkte (me kan ikkje gå via nokon f-strukturlenking), så LPT-kravet gir oss eit utgangspunkt for lenking. Men dette avheng av korleis ein definerer LPT. Skal ein berre ta med semantisk tunge ord, eller bør funksjonsord au vere representert ved konseptet? Det kan argumenterast for at me ikkje bør la konseptet *LPT-korrespondanse* dekkje funksjonsord, sidan det ofte (oftare enn med innhaldsord) er vanskeleg å seie på førehand kva ord desse kan omsetjast til; viss me trur me har avgrensa ei mengd med omsetjingar for eit funksjonsord, men så finn det omsett til eit nytt funksjonsord – kor dei semantisk tunge komplementa bør lenkjast, og konteksten er lik – så bør nok det heller vere evidens for at desse to funksjonsorda au er moglege omsetjingar (Dyvik 2010, p.k.). I såfall har me ikkje fleire lenkingskrav for funksjonelle nodar, og ser på dei preterminale funksjonelle nodane som om dei ikkje dominerte noko; eller: L_c (ev. LL) av desse nodane er den tomme mengden.

Men, det kan sjølvsagt hende at ein ønskjer å setje eit LPT-krav på ord som ikkje projiserer noko PRED-element, der ein er svært sikker på dei moglege omsetjingane (t.d. der ei viss ikkje-omsetjing av eit funksjonsord kan føre til logisk motsett tyding). Sidan det er mogleg å ønskje seg slike krav, gir eg her eit forslag til korleis det kan formaliserast.

Viss me har to funksjonelle konstituentar kor komplementa kan lenkjast på f-strukturnivå, men funksjonsorda ikkje kan sjåast på som moglege omsetjingar (t.d. *fordi* og *whether*), kan det hende ein ikkje ein gong vil lenkje komplementa. Ein kan sjå på dette som at funksjonsorda gjer at komplementa speler ulike roller i omgivnadene[23]. Samtidig vil me nok ikkje at eit manglande funksjonsord på det eine språket skal hindre lenking av komplementa, sidan det kan hende at funksjonsordet ikkje er kravd på det språket (eventuelt kjem dette fram som korrespondansar i f-strukturtrekk, men eg har ikkje teke høgd for korrespondansar mellom andre f-strukturelement enn PRED i denne oppgåva).

Me kan krevje at komplementa er lenkja for å sikre at me ikkje lenkjar nodar som står i ulike konstekstar (me vil ikkje lenkje *at* i «han såg at det gjekk bra» med *that* i «he saw that she drew a picture»), jamfør kravet om lenkja argument for lenkja predikat i del 3.6.1.

Desse ønskene kan me formalisere slik:

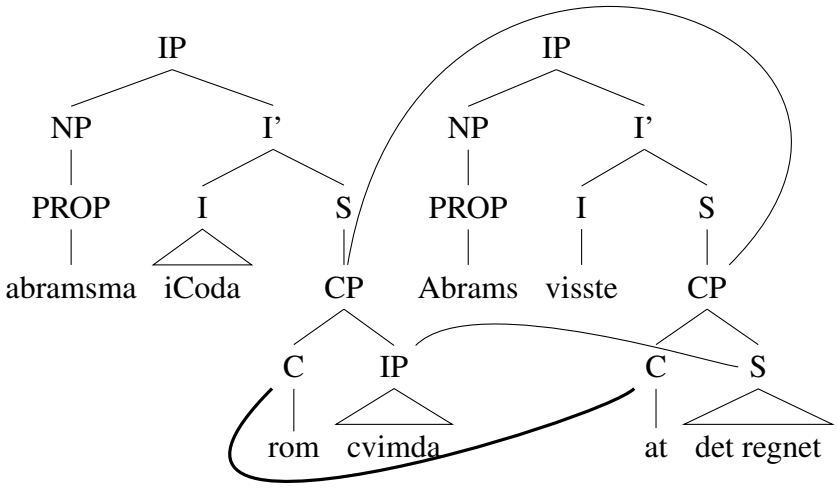
(18) Krav for lenking av funksjonelle kategoriar i c-strukturen, viss funksjonsord er dekkja av LPT-krav:

[23] Skal ein lenkje ordet *som* (utan PRED) med ordet *which* (med PRED)? Viss krava elles er oppfylt, kan det kanskje vere informativt med ein type «defekt» lenkje, sjølv om berre det eine ordet blir rekna for å vere eit innhaldsord. Frasane til deira funksjonelle domene vil uansett kunne lenkjast viss dei andre krava er oppfylte.

a. Gitt ei mogleg lenking av FP og GP, kor F og G er funksjonelle kategoriar der komplementa elles kan lenkjast, tolk LPT-korrespondansen mellom orda under F' og G' som eit medlem av lenkjemengda L_c (ev. *LL*), kor denne må vere lik for at FP og GP skal kunne lenkjast. Då kan me au lenkje F' og G'.
b. Gitt ei mogleg lenking av FP og XP, der F er ein funksjonell kategori, medan X er ein ikkje-funksjonell kategori, ignorerer me den funksjonelle kategorien i c-strukturlenkinga. Sidan det ikkje er nokon forskjell i L_c (ev. *LL*) mellom FP og F', er F' medlem av nodemengden som blir lenkja til XP.

Om (18-a) er oppfylt, kan me få samanstillinga vist i figur 3.10. Her vil dei funksjonelle domena til CP og CP kvar kunne delast opp i to delar, kor den funksjonelle delen har LPT-korrespondanse medan komplementa er lenkja på f-strukturnivå. Lenkjemengdene under CP-nodane er like, og dei under C-nodane er like. Merk at me får same samanstilling om me ikkje har noko LPT-krav på ord utan PRED-element – utanom at dei preterminale C-nodane då står ulenkja.

(Alle nodane under S vist i dei to trea er i same funksjonelle domene, så om dei funksjonelle domena er lenkja, vil krav (15) vere oppfylt kva gjeld CP-komplementa – lenkinga går ikkje ut over dei funksjonelle domena, medan krav (17) er dekkja for S-nodane med unntaket over.)



Figur 3.10: Mogleg samanstilling av funksjonelle c-strukturnodar mellom georgisk og norsk (bokmål)

Der det eine språket har eit funksjonsord og det andre språket ikkje krever det, bryr me oss ikkje om funksjonsordet. For å sjekke noko slikt må me som nemnt sjå på andre trekk enn PRED i f-strukturane, noko som blir utanfor denne oppgåva; men om me hadde sjekka slike f-strukturkorrespondansar kunne me unngått kravet om LPT-korrespondanse og i staden nytta informasjon frå f-strukturane til lenking av funksjonelle kategoriar. Utan å ha slike mekanismar på plass blir f-strukturlenkinga avhengig av c-strukturforhold, og i implementasjonen min har eg difor valt å ikkje lenkje ord som ikkje projiserer PRED-element. Dette kan altså føre til lenking av funksjonelle kategoriar der funksjonsorda har svært ulik «tyding», men som me har sett er det gode grunnar til å ikkje la LPT-kravet dekkje funksjonsord.

3.8 Rangering

Gitt ei viss f-struktursamanstilling, vil det berre vere éin mogleg måte å lenkje på c-strukturnivå. Men slik f-strukturkrava er stilt, kan me få mange ulike moglege samanstillingar på f-strukturnivå. Ideelt sett burde krava vere nyanserte nok til å plukke ut berre dei samanstillingane som er ønskelege, men som vist over er dette ikkje alltid like lett, spesielt om me ikkje har fullstendig informasjon om LPT-korrespondansar.

Difor er det nyttig å ha nokre kriterium, eller i det minste heuristikkar, for å rangere ulike f-struktursamanstillingar. Det er sjølvsagt svært mange måtar ein kan rangere to strukturar på; kriteria nedanfor er tenkt å gi dei samanstillingane som føreset at argumentstrukturane er så like som mogleg. Implementasjonen av kriteria kjem i del 4.2.

Merk at om me har «fullstendig» LPT-informasjon (t.d. ei perfekt omsetjingsordbok), treng me aldri rangere. Desse kriteria er difor kanskje mindre teoretisk interessante, sidan dei alltid kan overstyrast ved å gi systemet meir kunnskap. Men det kan au vere interessant å teste kor godt ulike rangeringskriterium fungerer der me ikkje har LPT-informasjon i det heile – då vil dei i prinsippet fungere som «mjuke» skrankar på f-struktursamanstillinga.

Nedanfor følgjer dei kriteria eg har basert implementasjonen på. Som nemnt er det berre ein av mange moglege måtar å gjere det på, men kriteria tek innover seg dei trekka som er relevante for argumentstrukturen: argumentfølgje og rekursiv f-strukturlenking.

3.8.1 Rangering ved følgje

I Dyvik et al. (2009, s. 75–76) blir det formulert eit spesialtilfelle av krava for lenking på f-strukturnivå, der det er like mange argument på kvart predikat, og førsteargument er lenkja til førsteargument, andre til andre, osb. I slike situasjonar er ingen adjunkt lenkja til argument; og om argumentstrukturane i analysane reflekterer det semantiske rollehierarkiet, vil me aldri lenkje t.d. agens til patiens og patiens til agens. Der grammatikkane er skrivne etter parallelle prinsipp, bør ei slik samanstilling – om alt anna er likt – gi den ønskelege lenkinga.

Difor har me dette som eit rangeringskriterium. For å nyansere det litt, kan me sjå på kor mange av lenkjene frå argumenta til eit predikat som ikkje er argument-adjunkt-lenkjer, og som ikkje har ulik posisjon i argumentstrukturen. Meir formelt:

(19) La m vere mengda av ein-til-ein LPT-korresponderande argument/adjunkt av to lenkja f-strukturar F_s og F_t. La n vere dei elementa av m som anten begge er adjunkt, eller begge er argument og har same posisjon i argumentstrukturane sine. *Følgjeskåren* til (F_s, F_t) er då $\frac{n}{m}$.

I spesialtilfellet nemnt over, vil skåren altså vere 1. Når det står «ein-til-ein LPT-korresponderande» over, er det for å plukke ut ein viss måte å samanstille argumenta og adjunkta til F_s og F_t (ein viss «argument-/adjunktpermutasjon») – men utan krav om at desse skal vere rekursivt lenkja. Kriteriet nedanfor rangerer rekursive lenkjer høgare enn enkle LPT-korrespondansar.

3.8.2 Rangering ved djupn

Krav (8) krev ein-til-ein LPT-korrespondanse mellom argument/adjunkt av kjelde- og målpredikatet, men stiller ikkje krav om at dei LPT-korresponderande elementa sjølv må vere lenkja på f-strukturnivå. Så viss «She tried to ride a bike» er lenkja med «Ho prøvde å sykle», kan me lenkje '**try**' med '**prøve**' sjølv om '**ride**' og '**sykle**' ikkje kan lenkjast – '**bike**' er eit påkravd argument[24].

[24]Merk: utan meir informasjon her vil krava i tillegg opne for ei mange-mange-lenkje mellom '**ride**' + '**bike**' og '**sykle**'; for skuld argumentet ser me berre på ein-til-ein-lenkjer i dette avsnittet.

I situasjonar der me har eit val mellom berre LPT-korrespondanse, og full rekursiv lenking, vil ei rekursiv lenkje skildre meir strukturell likskap enn berre LPT-korrespondansen.

Difor har me dette som eit rangeringskriterium. Me kan formalisere det slik:

(20) La m vere mengda av ein-til-ein LPT-korresponderande argument/adjunkt av to lenkja f-strukturar F_s og F_t. La n vere dei elementa av m som anten ikkje har argument sjølve, eller som er lenkja på f-strukturnivå. *Djupnskåren* til (F_s, F_t) er då $\frac{n}{m}$.

Der alle LPT-korresponderande argument/adjunkt av F_s og F_t au er lenkja, vil djupnskåren vere 1.

3.8.3 Rangering for heile samanstillinga

Kriteria over gir to skårer for eit visst par av PRED-element. Utan å ha testa desse kriteria empirisk er det naturleg å vekte dei likt; altså bør skåren for eitt par av PRED-element innehalde produktet av desse skårane.

Men argumenta og adjunkta av desse to elementa kan sjølv ha ulike moglege delsamanstillingar, som kan gi ulike skårer. La a_s og a_t, argument eller adjunkt av F_s og F_t, vere lenkja i ei mogleg samanstilling av F_s og F_t. Innanfor (a_s, a_t) finn me kanskje ulike moglege samanstillingar, her vel me den som gir best skåre. Men det kan hende at det finst ei alternativ måte å lenkje på, kor F_s er lenkja til G_t, a_s til b_t (argument/adjunkt av G_t), og (a_s, b_t) har høgare skåre enn (a_s, a_t). Viss alt anna er likt, bør me då heller velje (F_s, G_t) enn (F_s, F_t).

Den endelege skåren for (F_s, F_t) er då produktet av følgjeskåren, djupnskåren og den vekta summen av dei endelege skårane for lenkja argument/adjunkt av F_s og F_t. Denne summen er vekta på lengden av lista med lenkja argument/adjunkt, for å ikkje gi unaturleg høg skåre til f-strukturar med mange argument/adjunkt; men viss me til slutt har mange greiner med same skåre, vel me den lengste sidan den då har flest lenkja adjunkt[25].

3.9 Oppsummering

Krava formulert i denne delen definerer kva for lenkjer som er ønskelege mellom konstituentar og mellom f-strukturar, når formålet er å annotere ein parallell trebank for lingvistiske studium. Det finst visse tilfelle der krava *ikkje* kan avgjere kva som er den ideelle samanstillinga utan meir informasjon enn det dei grammatiske analysane gir; eg diskuterer slike døme i kapittel 5, i tillegg til døme som er problematiske for krava sjølv der me har fullstendig informasjon, og der meir arbeid trengst. Kapittelet som kjem no gir detaljane for programmet `lfgalign`, som implementerer krava frå dette kapittelet sånn at det er lettare å teste kor dei slår feil.

[25] Dette er ganske *ad hoc* skåringsfunksjon, og det er ikkje sikkert at alle kriteria bør ha lik vekting. Sidan det ikkje er meininga å nytte denne skåringa i maskinlæring har eg ikkje undersøkt om dette kan gjerast til ein stringent sannsynsmodell (der summen av skårar for alle moglege samanstillingar aldri går over 1); men det bør vere mogleg å gjere noko slikt ut av det.

Kapittel 4

Implementasjonen av `lfgalign`

> Scientists reproduce results; engineers build impressive and enduring artifacts; and theologians muse about what they believe but can't see or prove.
>
> (Pedersen, 2008, s. 466)

Eit formelt krav kan se bra ut på papiret, men ha skjulte manglar som ikkje kjem fram før ein har testa det. Ei implementering gjer det med ein gong synleg om det finst manglar i det formelle kravet, eller om noko ikkje er presist nok spesifisert.

For å finne ut av kor godt krava i forrige kapittel fungerer til å avgrense kva for lenkjer som er moglege, har eg implementert dei etter beste evne i eit Common Lisp[1]-program. Dette kapittelet gir eit oversyn over implementasjonen, medan neste kapittel går gjennom resultat av køyring[2].

Programmet `lfgalign` tek inn LFG-analysane av to setningar som me av uavhengige grunnar trur er omsetjingar av kvarandre. LFG-analysane må vere disambiguerte og i Prolog-formatet frå XLE[3]. Programmet les inn dei to filene og opprettar ein intern representasjon av LFG-analysen.

Me kan i tillegg gi programmet informasjon om kva for ord-omsetjingar me ser på som lingvistisk prediktable. Intensjonen er at dette kan vere informert av omsetjingstabellen frå eit automatisk ordsamanstillingsprogram, eller av handskrivne omsetjingsordbøker.

Programmet byrjar lenkinga med f-strukturane. Ei f-struktur*samanstilling* er ei mengd med *lenkjer* mellom individuelle f-strukturar. Resultatet av lenkinga på dette nivået kan vere tvitydig: sidan det ofte finst fleire måtar å lenkje argument og adjunkt på, får me i første omgang mange samanstillingar mellom kjelde- og mål-f-strukturar.

Difor rangerer me f-struktursamanstillingane, og den beste sender me vidare til c-struktursamanstillinga. Denne delen av programmet gir ut éi, utvitydig mengd med mange-til-mange-lenkjer mellom c-strukturane (her treng me ingen rangering). Nodane i kvar av desse mange-til-mange-lenkjene definerer no den endelege frasesamanstillinga.

[1] Dette språkvalet kan gjere integrering med andre LFG-system lettare (Common Lisp er m.a. nytta i LFG Parsebanker (Rosén et al., 2009)).

[2] «An article about computational science in a scientific publication is **not** the scholarship itself, it is merely **advertising** of the scholarship. The actual scholarship is the complete software development environment and the complete set of instructions which generated the figures.» (Jon Claerbout, i Stodden, 2009, s. 7–8). Kjeldekoden til implementasjonen er tilgjengeleg frå http://github.com/unhammer/lfgalign (som fri og open programvare under GNU General Public License versjon 3 eller seinare), saman med testmaterialet nytta i neste kapittel.

[3] Formatet er dokumentert på http://www2.parc.com/isl/groups/nltt/xle/doc/xle.html. Importeringa til Lisp-strukturar handterer «pakka representasjonar» og kjenner igjen ekvivalensforhold (t.d. der fleire ϕ-variablar refererer til same f-struktur, eller fleire Prolog-variabler refererer til same analyseval); men filene eg har testa utnyttar ikkje det fulle spennet til formatet, så det finst ganske sikkert feil.

Nedanfor går eg gjennom detaljane rundt dei relevante delene av programmet.

4.1 Lenkjer mellom f-strukturar

Hovudalgoritmen for lenking mellom f-strukturar er vist i kodefigur 1. Funksjonen `f-align` returnerer ei mengd med moglege samanstillingar. Kvar samanstilling er ei mengd med par av f-strukturar[4]. Eit par (F_s, F_t) representerer ei lenkje frå ein f-struktur på kjeldespråket, til ein f-struktur på målspråket. Me går ut frå at dette paret har LPT-korrespondanse[5], dette blir sjekka før alle kall på `f-align`. Der me ikkje har informasjon om LPT-korrespondanse mellom to ord (orda er ukjende), er lenking lov. Pro-element og substantiv kan alltid lenkjast med kvarandre.

Funksjonen `f-align` prøver først å lenkje F_s og F_t ein-til-ein. Viss ikkje dette går, prøver me å føye saman den eine av desse f-strukturane med eitt av argumenta til den andre.

alignments $\leftarrow \emptyset$;
argperms $\leftarrow$ argalign(F_s, F_t) ;
if *argperms* **then**
  add argloop(argperms, $\emptyset$) to *alignments* ;
else
  forall the A_s *in arguments*(F_s) ***where*** *LPT*(A_s,F_t) **do**
    argperms $\leftarrow$ margalign(F_s, F_t, A_s, F_t) ;
    add argloop($F_s, F_t, (A_s, F_t)$) to *alignments* ;
  end
  forall the A_t *in arguments*(F_t) ***where*** *LPT*(F_s,A_t) **do**
    argperms $\leftarrow$ margalign(F_s, F_t, F_s, A_t) ;
    add argloop($F_s, F_t, (F_s, A_t)$) to *alignments* ;
  end
if *alignments* $= \emptyset$ **then return** $\emptyset$; `// Fail`
else return $((F_s, F_t), alignments)$;

Funksjon 1: f-align(F_s, F_t)

Hjelpefunksjonen `argalign` (som igjen kallar `argalign-p`, vist i kodefigur 2) gir alle moglege «argumentpermutasjonar», dvs. moglege kombinasjonar av lenkjer mellom argumenta til F_s og F_t som tilfredsstiller kravet om LPT-korrespondanse, men utan å sjekke at desse argumenta igjen kan samanstillast[6]. Funksjonen prøver å lenkje kvart argument til eit argument eller eit adjunkt, men gir ingen lenkjer mellom to adjunkt (sjå del 4.1.1 nedanfor om dette). Funksjonen gir heller ikkje kombinasjonar der minst eitt argument ikkje er lenkja – alle kombinasjonane må inkludere alle argument frå F_s og F_t, jf. krav (8) (ev. krav (14), for `margalign`, kalt der me har ei ein-mange/mange-ein-lenkje).

Funksjonen `argloop` i kodefigur 3 går gjennom éin av desse argumentpermutasjonane, og prøver å leggje til overflødige adjunkt, i tillegg til å kalle `sub-f` (kodefigur 4), som prøver å rekursivt lenkje kvart par av argument/adjunkt i permutasjonen. Viss rekursiv lenking ikkje er mogleg, legg

[4]Eigentleg eit slag avgjerdstre; kvart element er eit par, kor første element representerer lenkja mellom dei yttarste f-strukturane, og andre element er dei moglege samanstillingane for argument/adjunkt av predikata i første element. Denne representasjonen er nyttig for å rangere samanstillingar, og `f-align` blir mykje meir oversiktleg av å jobbe med eit slikt tre. Funksjonen `flatten` i `lfgalign` kan nyttast til å omforme det ferdige treet til ei enkel liste med samanstillingar, kor kvar samanstilling er ei flat liste med lenkjer mellom f-strukturar.

[5]Når eg her skriv at to f-strukturar har LPT-korrespondanse, meiner eg sjølvsagt at ordformene til PRED-verdien til kvar f-struktur har LPT-korrespondanse.

[6]Saman med `adjalign` gir denne funksjonen ein implementasjon av *fpairs* frå kapittel 1.

usage: Kalt av argalign slik:
argalign-p(arguments(F_s), adjuncts(F_s), arguments(F_t), adjuncts(F_t))
av margalign ved samanføyd lenkje frå F_s og a_s til F_t slik:
argalign-p(arguments(a_s) $\bigcup$ arguments(F_s) $-a_s$, adjuncts(a_s) $\bigcup$ adjuncts(F_s), arguments(F_t), adjuncts(F_t))

$a \leftarrow \emptyset$;
if $args_s$ **then**
  $s \in args_s$;
  forall the $t \in args_t$ ***where*** *LPT(s,t)* **do**
    forall the $p \in$ *argalign-p(*$args_s - \{s\}$, $adjs_s$, $args_t - \{t\}$,$adjs_t$*)* **do** add $\{(s,t)\} \bigcup p$ to a;
  end
  forall the $t \in adjs_t$ ***where*** *LPT(s,t)* **do**
    forall the $p \in$ *argalign-p(*$args_s - \{s\}$, $adjs_s$, $args_t$,$adjs_t - \{t\}$*)* **do** add $\{(s,t)\} \bigcup p$ to a;
  end
  return a;
else if $args_t$ **then**
  if $adjs_s$ **then**
    $s \in adjs_s$;
    forall the $t \in args_t$ ***where*** *LPT(s,t)* **do**
      forall the $p \in$ *argalign-p(*$args_s$, $adjs_s - \{s\}$, $args_t - \{t\}$,$adjs_t$*)* **do** add $\{(s,t)\} \bigcup p$ to a;
    end
    return a;
  else
    return $\emptyset$; `// Fail`

else
  return $\{\emptyset\}$; `// End`

Funksjon 2: argalign-p($args_s$, $adjs_s$, $args_t$, $adjs_t$)

me berre til paret av desse f-strukturane utan noko anna (me veit at dette paret har LPT-korrespondanse sidan det kom frå `argalign` eller `adjalign`, men det er ikkje sjølv lenkja).

Eit døme: viss F_s har argumenta SUBJ og OBJ og ingen adjunkt, og F_t har argumentet SUBJ og eitt adjunkt ADJ, der alle ord-omsetjingar (LPT-korrespondansar) er moglege, vil `argalign` gi dei to argumentpermutasjonane $\{(\text{SUBJ},\text{SUBJ}),(\text{OBJ},\text{ADJ})\}$ og $\{(\text{SUBJ},\text{ADJ}),(\text{OBJ},\text{SUBJ})\}$. Viss adjunktet til F_t ikkje fantest, eller ikkje hadde LPT-korrespondanse med nokon av argumenta til F_s, ville me ikkje fått nokon permutasjonar; medan viss paret $(\text{SUBJ},\text{SUBJ})$ ikkje hadde LPT-korrespondanse og alt anna var likt, ville me berre fått den siste permutasjonen.

Funksjonen `argloop` går så gjennom kvar argumentpermutasjon og kallar `sub-f` på permutasjonen; `sub-f` prøver å kalle `f-align` på alle lenkjene. Sidan lenkjene som `argalign` gir har LPT-korrespondanse, vil alle f-strukturane i dei rekursive kalla i `f-align` ha LPT-korrespondanse. Eit rekursivt kall kan gi nye samanstillingar i dei indre f-strukturane, viss dei relevante krava er oppfylte.

Det er mogleg at ei lenkje frå éi samanstilling kan finnast i andre samanstillingar, `sub-f` unngår dobbeltarbeid ved å lagre alle delvise samanstillingar i *aligntable*-tabellen[7]. Dette føreset at `f-align`(s,t) er uavhengig av konteksten rundt[8]; t.d. må mengda av samanstillingar som kjem ved å lenkje subjektet til F_s mot subjektet til F_t vere uavhengig av om objektet til F_s er lenkja mot eit objekt eller eit adjunkt osb. av F_t.

alignments $\leftarrow \emptyset$;
if *argperms* **then**
  forall the *argperm in argperms* **do**
    $p \leftarrow (M_s, M_t) \bigcup$ sub-f(argperm) ; `// optional merged arg`
    add p to *alignments* ;
    forall the *adjperm in adjalign(argperm, F_s, F_t)* **do**
      $a \leftarrow p \bigcup$ sub-f(adjperm) ; `// optional adjunct links`
      add a to *alignments*;
    end
  end
else
  `// no arguments that need matching, add any adjuncts`
  forall the *adjperm in adjalign($\emptyset$, F_s, F_t)* **do**
    add sub-f(adjperm) to *alignments* ;
  end
return *alignments*

Funksjon 3: argloop(argperms, (M_s, M_t))

Sjølv om det er krav om LPT-korrespondanse mellom kvart argument og eit argument/adjunkt for å lenkje F_s og F_t, er det ikkje noko krav om at alle para i ein argumentpermutasjon tilfredsstiller alle lenkingskrava. Viss `f-align`(OBJ,ADJ) frå dømet over gir null, og ikkje kan lenkjast (t.d. fordi ADJ hadde eitt argument, og OBJ ingen argument/adjunkt), medan `f-align`$(\text{SUBJ},\text{SUBJ})$ kan lenkjast, vil `f-align` likevel returnere samanstillinga som inneheld (OBJ,ADJ) og $(\text{SUBJ},\text{SUBJ})$. Me kan sjå i *aligntable* for å finne ut av om kvar av f-strukturane kunne lenkjast; i dette tilfellet vil *aligntable*$[\text{OBJ},\text{ADJ}]$ vere tom.

Om me i tillegg krev at substrukturar kan samanstillast kan me hindre lenking av f-strukturane F_s og F_t i (1) under:

[7] Dette ser ut til å auke den totale farta med ca. 35 %.

[8] I programmeringsterminologi: at problemet har *optimal substruktur* – den optimale løysinga må vere mogleg å finne frå optimale delløysingar for at me skal kunne nytte slik dynamisk programmering.

$p \leftarrow \emptyset$;
forall the A_s, A_t *in perm* **do**
  if *aligntable*[A_s,A_t] **then**
    alignment ← aligntable[A_s,A_t] ;
  else
    alignment ← f-align(A_s, A_t);
    aligntable[A_s,A_t] ← alignment ;
  end
  if *alignment* **then**
    add alignment to p;
  else
    add (A_s,A_t) to p ;
end
return p

Funksjon 4: sub-f(perm, aligntable)

(1) a.
$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\mathbf{planlegge}\text{<eg,}\boxed{1}\text{>'} \\ \text{XCOMP} & \boxed{1}\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\mathbf{gi\ (opp)}\text{'} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

b.
$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\mathbf{plan}\text{<I,}\boxed{2}\text{>'} \\ \text{XCOMP} & \boxed{2}\begin{bmatrix} \text{PRED} & \mathbf{give}\text{<I, him, it>'} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Men som del 3.8 nemner kan det vere at me ikkje *vil* krevje dette i alle moglege tilfelle. Ei tryggare løysing er å rangere ulike løysingar i etterkant, ved å spørje etter dei argumentsamanstillingane som har flest lenkja substrukturar, dette kjem eg tilbake til i 4.2 nedanfor.

4.1.1 Overflødige adverbial

Argumentpermutasjonane frå `argalign` prøver som nemnt ikkje reine adjunkt-adjunkt-lenkjer, sidan me ikkje vil forkaste lenking av F_s og F_t berre på grunn av at ikkje alle adjunkt kunne lenkjast. Men når me har prøvd ein argumentpermutasjon, kan me lage ein kopi av denne som i tillegg inneheld lenkjer mellom «overflødige» adverbial, altså dei adjunkt-adjunkt-lenkjene som `argalign` ikkje prøver. Hjelpefunksjonen `adjalign` (ikkje vist her) konstruerer moglege permutasjonar av lenkjer mellom adjunkt som ikkje er inkludert i *argperm*, og `argloop` prøver desse rekursivt via `sub-f` på same måte som med argumentlenkjene. Lenkjene blir lagt til ein *kopi* av argumentpermutasjonane, sidan det ikkje er sikkert at me ønskjer å lenkje alle adjunktdøtre. Viss me har to overflødige adjunkt på kvar side, og kravet om LPT-korrespondanse er dekkja for alle fire moglege par, får me seks moglege permutasjonar, sidan me inkluderer dei fire permutasjonane der eitt adjunktpar er ulenkja.

Viss F_s og F_t ikkje hadde argument i det heile teke, går `argloop` au gjennom moglege permutasjonar av adjunktdøtre, på same måte.

4.1.2 Når f-strukturlenkjene ikkje er ein-til-ein

Som nemnt i del 3.6.4 hoppar me over adposisjonar som plukkar ut adjunkt/argument, dette skjer t.d. i `adjalign` ved at funksjonen som henter ut f-strukturen til adjunkt-døtre av ein f-struktur hoppar over adposisjonar.

Der det er umogleg å finne ein kombinasjon av argument- og adjunkt-lenkjer slik at alle argument har LPT-korrespondanse med ein unik f-struktur, dvs. der `argalign` feilar, prøver me ein-mange/mange-ein-lenkjer[9]. Dette er ikkje verre enn at ein kallar `argalign-p` med unionen av argument frå dei to samanføyde f-strukturane (minus desse f-strukturane sjølve); men me sjekker i tillegg at kjeldeargumentet som blir samanføyd med kjeldepredikatet har LPT-korrespondanse med målpredikatet. Sidan dette berre skjer viss `argalign` feilar, blir det naturleg nedprioritert, som forklart i del 3.6.5.

4.1.3 Kan me gjere f-struktursamanstillinga bottom-up?

Denne metoden går top-down frå ytre PRED og ned i underordna argument/adjunkt. Me vil difor aldri prøve å lenkje ein ytre f-struktur med ein indre f-struktur, utanom ved ein-mange-lenking.

Ein alternativ metode for lenking av f-strukturane er å byrje med alle logisk moglege permutasjonar av LPT-korrespondansar, og så sile ut dei som ikkje svarer til krava. Prosessen ville nok blitt mykje meir oversiktleg på denne måten, sidan det då berre er snakk om å sjekke krav for kvar enkelt lenkje. Men ein slik metode er vanskeleg i praksis; når avskjeringa skjer så seint, blir det alt for mange moglege kombinasjonar for lengre setningar med mange ukjende ord til at ein vanleg datamaskin kan halde styr på dei.

Me må i alle tilfelle vere klar for ei setning der alle ord er ukjende (me har ingen informasjon om LPT-korrespondanse), slik at kvart kjeldeord kan lenkjast til kvart målord. Viss begge setningane er 4 ord, får me 16 moglege samanstillingar der alle ord er med i nøyaktig éi lenkje (2^l, kor l er setningslengd). Men ofte har me null-lenkjer, me må altså i tillegg tillate samanstillingar der minst eitt ord er ulenkja, utan at me treng å vite kva for ord det er; med desse kortare listene inkludert får me endå fleire moglege samanstillingar per setning (4 ord gir 26, 8 ord gir 2186 moglege samanstillingar). Sjølv om me heile tida vel dei samanstillingane som lenkjar flest ord, vil maskinen raskt få problem. I tillegg har me problemet med 1-mange-lenkjer, som skaper endå fleire moglege samanstillingar. For å gjere utrekningane handterbare kan ein i staden plukke frå ei liste med dei k beste LPT-korrespondansane i setninga, noko som gjer ein mykje meir avhengig av god LPT-informasjon[10].

Ein sideverknad av å byrje med ytre lenkjer og gå innover (prosessen skildra i del 4.1) er at me automatisk unngår å prøve «kryssande» lenkjer, t.d. å lenkje F_s med XCOMP av F_t, og XCOMP av F_s med F_t (denne kombinasjonen av lenkjer vil jo vere ein del av alle logisk moglege permutasjonar). Me får au prioritert å lenkje ytre element, som jo er sikrare lenkjer: gitt to f-strukturar for setningar der alt me veit om lenkinga er at *setningane* er omsetjingar av kvarandre, vil dei to ytre f-strukturane ha størst sjanse for å korrespondere med kvarandre. For kvart steg du går innover må du multiplisere inn sjansen for å trå feil i argumentpermutasjonane.

Det finst altså både praktiske og meir ideelle grunnar til å gjere det på denne måten, men om det faktisk fungerer er eit spørsmål eg kjem tilbake til i del 5. I neste del ser eg på rangering av løysingane frå `f-align`.

[9] For no berre ein-to/to-ein-lenkjer, der det eine av dei to er eit predikat og det andre er eit argument av det predikatet. Ein annan type ein-to/to-ein-samanføying er to argument av same predikat, men dette vil gi ein omveg rundt krav (8) i kapittel 3 om at alle argument må finne omsetjingar. I neste kapittel (del 5.3.1) gir eg eit døme kor slik samanføying ville opna for rett lenking, men der me kanskje heller bør ta mangelen på lenking som evidens for at predikatet har ein alternativ argumentstruktur.

[10] Ein slik strategi kan samanliknast med metoden i Samuelsson & Volk (2007), men med f-strukturar og ord i staden for c-strukturar og N-gram.

4.2 Rangering

Rangering foregår etter kriteria formalisert i del 3.8. Implementasjonen av kriteria følgjer formaliseringa ganske eksakt. Funksjonen *rank-f*, i kodefigur 5, tek ei urangert f-struktursamanstilling, representert som eit avgjerdstre kor førsteelement er ei lenkje (*link*) mellom to f-strukturar, og andreelement er ei mengd (*branches*) med moglege måtar å samanstille argumenta og adjunkta til desse f-strukturane. Kvar enkelt grein i *branches* er ei mengd med nye avgjerdstre, eitt tre for kvart lenkja argument/adjunkt i den moglege delsamanstillinga. Så viss me har ei lenkje mellom to ytre pred F_s og F_t, og desse har to argument kvar ($a1_s$, $a2_s$, $a1_t$, $a2_t$), vil *link* vere (F_t, F_s) medan *branches* er $\{\{a1a1tree, a2a2tree\}, \{a1a2tree, a2a1tree\}\}$; her har $a1a1tree$ har som *link* $(a1_s, a2_t)$, osb. Viss desse argumenta ikkje har argument/adjunkt sjølve, vil deira *branches* vere tomme, og deira *rank-f* er då 1. For F_t og F_s vil funksjonen *rank-f* returnere den greina som har best skåre[11], gitt ved *rank-branch*.

Kodefigur 6 illustrerer funksjonen *rank-branch*. Her har me fått ei viss lenkje *link* mellom PRED-element, og ser på alle dei moglege måtane å lenkje argument/adjunkt på – kvar måte er representert ved eit par *sublink, subbranches*. Me finn først den rekursive skåren for *subbranches* via *rank-f* igjen, og summerer dette inn i *subrate-sum*. Me returnerer produktet av skårene frå rangeringskriterium (19) og (20) med *subrate-sum* vekta på kor mange lenkjer det var i greina.

```
if branches = ∅ then
    return (link, 1)
else
    best-rate ← 0 ;
    best-branches ← ∅ ;
    forall the branch ∈ branches do
        newbranch, rate ← rank-branch(seen, link, branch) ;
        if rate >= best-rate then
            best-branch ← newbranch ;
            best-rate ← rate ;
    end
    add best-branch to seen ;
    return seen, best-rate ;
```

Funksjon 5: rank-f(seen, link, branches)

I tillegg til skåren, returnerer desse funksjonane den beste greina[12], slik at me ender opp med ei enkel, «flat» liste med lenkjer. Denne blir sendt vidare til c-strukturlenkinga.

4.3 Lenking av c-strukturnodar

Samanstilling mellom f-strukturar treng i `lfgalign` ikkje informasjon om c-strukturen, medan lenking av c-strukturnodar skjer på grunnlag av f-struktursamanstillinga. Programmet utfører difor samanstilling av c-strukturar sist[13].

[11] Det kan godt hende me har fleire greiner med same skåre – kodefiguren viser ikkje dette, men me samlar opp alle med høgast skåre og returnerer den *lengste* av desse for å fylle opp med så mange adjunkt-lenkjer som mogleg. Viss det er fleire lengste, vel me berre den første, sidan det ikkje er meir å rangere på.

[12] Alternativt kunne me returnert eit tre som var annotert med skårene.

[13] Som nemnt i del 3.7.3 kan funksjonsord gjere f-strukturlenkinga avhengig av forhold i c-strukturen, ev. krevje meir nyansert f-strukturlenking. Dette har eg ikkje teke høgd for i implementasjonen, så der eit funksjonsord burde blokkert

```
subs ← ∅ ;
subrate-sum ← 0 ;
forall the sublink, subbranches ∈ branch do
    newsub, subrate ← rank-f(seen, sublink, subbranches) ;
    add newsub to subs ;
    subrate-sum += subrate ;
end
rate ← sub-f-rate(seen, branch) · arg-order-rate(link, seen, branch)
                                  · subrate-sum / count(subs) ;
return subs, rate ;
```

Funksjon 6: rank-branch(seen, link, branch)

Funksjonen `c-align` har som inndata c-strukturanalysane av kjelde- og målsetninga, og éi f-struktursamanstilling; utdata er ei mengd med lenkjer. Ei lenkje er eit par der første element er ei mengd c-strukturnodar på kjeldespråket, og andre element ei mengd nodar på målspråket. Det er ingen overlapp mellom medlem av lenkjer (ein node er aldri med i meir enn eitt par).

I Dyvik et al. (2009, s. 77) er kravet for å lenkje to c-strukturnodar er at dei dominerer same mengd med ordlenkjer[14]. Ein node n dominerer ei mengd lenkjer l viss unionen av lenkjene dominert av døtrene til n er lik l. I `lfgalign` opererer eg ikkje med *ordlenkjer* i seg sjølv; f-struktursamanstillinga er basert på LPT-korrespondansar, som definerer moglege ordlenkjer utan å sjå på kontekst, og f-struktursamanstillinga avgrensar vidare moglege ordlenkjer gitt f-strukturinformasjon. Preterminale nodar er dei mest ordnære nodane som kan ha ei f-strukturlenkje (ved ϕ); når formålet er å lenkje c-strukturnodar kan me nytte f-strukturlenkja til den preterminale noden i staden for ordlenkjer.

Programmet `lfgalign` følgjer krav (17) og lenkjar øvste nodar i funksjonelle domene, og subordinate nodar som har same informasjonstap. Prosedyren `c-align` i kodefigur 7 implementerer dette kravet.

```
c-alignments ← ∅ ;
splits_s ← new table ;
add-links(f-alignment, tree_s, splits_s) ;
splits_t ← new table ;
add-links(f-alignment, tree_t, splits_t) ;
forall the links being the keys in splits_s do
    if (links in splits_t) then
        add (splits_s[links], splits_t[links]) to c-alignments ;
end
return c-alignments ;
```

Funksjon 7: c-align(f-alignment, $tree_s$, $tree_t$)

Hjelpeprosedyren `add-links` (kodefigur 8) utfører hovudjobben. Inndata er rotnoden til c-strukturtreet for eitt av språka, og f-samanstillinga. Prosedyren kappar opp treet i nodemengder, kor kvar nodemengd dominerer same lenkjemengd (som definert over). Nodemengdene blir lagra i ein tabell, indeksert på lenkjemengdene. Prosedyren går rekursivt gjennom treet frå rot til

ei f-strukturlenkje vil `lfgalign` gi feil samanstilling.

[14] Dette er ein litt enklare måte å definere kravet på; ei *lenkje* refererer til både kjelde og mål, dimed blir det mogleg å seie at ein node på kjeldespråket kan dominere same mengd som ein node på målspråket.

lauv; lenkjemengden for kvar node er unionen av lenkjemengdene returnert av `add-links` kalt på kvar av døtrene. Viss ein node dominerer ei lenkjemengd *links*, legg me til denne noden i tabellen $splits[links]$. Merk at kvar c-strukturnode berre opptrer éin gong i tabellen[15].

$links \leftarrow \emptyset$;
if *node* **then**
  if *preterminal?(node)* **then**
    let $link \in$ f-alignment s.t. $\phi(node) \in link$;
    if $link$ **then** $links \leftarrow \{link\}$;
    if **pro-affects-c-linking** **then**
      forall the $a \in args(\phi(node))$ *s.t.* $\phi^{-1}(a) = \emptyset$ **do**
        let $link_a \in$ f-alignment s.t. $a \in link_a$;
        if $link_a$ **then** $links \leftarrow \{link_a\}$;
      end
  else
    $links \leftarrow$add-links(f-alignment, left-branch(*node*)) $\bigcup$ add-links(f-alignment, right-branch(*node*)) ;
  add *node* to $splits[links]$;
return $links$;

Funksjon 8: add-links(f-alignment, $node, splits$)

Sidan `c-align` kallar `add-links` for kvar av sidene, får me to tabellar $splits_s$ og $splits_t$. Me hentar så ut alle dei lenkjemengdene som er i begge tabellane (dvs. snittet av oppslagsnøklene til tabellen); nodane som er lagra med same mengd med f-strukturlenkjer (same nøkkel i tabellen) skal lenkjast på c-strukturnivå. Alle desse mange-til-mange-lenkjene blir til slutt returnert av `c-align`.

Om brukarvariabelen `*pro-affects-c-linking*` er sann, vil me leggje til lenkja pro-argument i lenkjemengdene; denne variabelen styrer forskjellen mellom dei to alternative løysingane på ulenkja c-strukturnodar diskutert i del 3.7.1. Om `*pro-affects-c-linking*` er usann, filtrerer me ut alle lenkjer frå `f-alignment` kor det eine elementet ikkje opptrer i c-strukturen, før kall på `c-align`. I figur 3.7 har me to f-strukturlenkjer som ikkje finst i c-strukturen; om me ikkje filterer ut desse, vil det *norske* treet bli delt i tri nodemengder (noko me berre ønskjer viss `*pro-affects-c-linking*` er sann) medan det georgiske uansett står som éin del.

Etter å ha henta ut nodane som er lagra med same nøkkel, er prosessen ferdig. Mange-til-mange-lenkjene mellom c-strukturnodar definerer konstituentsamanstillinga.

I neste kapittel går eg gjennom resultat av å køyre `lfgalign` på ulike testsett.

[15] Som nemnt i del 3.7.3 gjer eg ingen forsøk på å finne lenkjer mellom nodar som ikkje projiserer PRED-element.

Kapittel 5

Evaluering og diskusjon

O! I smell false Latin

(Shakespeare)

I denne delen gir eg ei evaluering av resultata frå å køyre `lfgalign` på LFG-analysar av parallelle setningar. Eg ser på manglar ved implementasjonen i forhold til dei ideelle krava frå kapittel 3, og på kor avhengig `lfgalign` er av bottom-up-informasjon. Eg samanliknar dei resultata som er moglege å få frå `lfgalign` med dei som er mogleg å få med andre metodar, då spesielt metodar som nyttar N-gramtabellar som kjelde til lenkingsinformasjon – altså kor fraselenkjer hovudsakleg kjem frå bottom-up-informasjon. I tillegg diskuterer eg kort ulike bruksområde for samanstillingane, og problem som enno er uløyste.

Allereie utan å sjå på materialet, kan me sjå at det er visse føresetnader i implementasjonen (gjort for å forenkle metoden), som kan føre til feil i samanstillinga. T.d. følgjer implementasjonen krav (10) i kapittel 3 (og lenkjar altså berre f-strukturar som er argument/adjunkt av lenkja f-strukturar, eller ikkje er argument/adjunkt av noko). Dette er nok for unyansert, men det avskjerer ein god del umotiverte lenkingar.

I dette kapittelet ser eg på korleis føresetnadene ved implementasjonen påverkar kva for samanstillingar me får, og kjem fram til at svært ulike eller fragmentariske f-strukturar fører til store feil i lenkingane; men det finst konkrete løysingar på dei fleste problema.

Eg har ikkje gjort nokon evaluering av c-strukturlenkinga; denne er uansett direkte avleidd frå f-strukturlenkjene, utan nokon «valfridom». Feil i c-strukturlenkjene har så langt anten vore implementasjonsfeil som var enkle å rette på, eller så har dei oppstått på grunn av at f-strukturlenkjene var feil.

5.1 Materiale

Eg byrjar med språka georgisk og norsk i evalueringa, hovudsakleg fordi dei er svært ulike syntaktisk og morfologisk. Som nemnt er georgisk eitt av språka nytta i Xpar-prosjektet; og det er nok det som har mest typologisk avstand frå norsk av språka i prosjektet. Georgisk er mellom anna eit pro-drop-språk, med friare ordfølgje og rikare morfologi enn norsk. Georgisk-norsk burde difor vere eit passande språkpar for evalueringa.

Kjeldematerialet mitt for dette språkparet er ei mengd med omtrent tredve LFG-analyserte testsetningar på norsk og georgisk, frå eit testsett kor setningane er valde for å illustrere ei vid rekkje ulike syntaktiske situasjonar (kalla `mrs` nedanfor), i tillegg til eit par setningar frå Jostein Gaarders

Sofies Verden (kalla `sofie` nedanfor) på norsk og georgisk. Analysane er manuelt disambiguerte og setningssamanstilte.

Sidan eg ikkje har tilgang på nokon større ferdig setningssamanstilt georgisk-norsk parallelltekst, blir det vanskeleg (utan ein god del forarbeid) å køyre den statistiske ordsamanstillinga som er vanleg som første steg i N-grambaserte metodar[1]. Materialet i `mrs` og `sofie` er sjølvsagt alt for lite for statistisk samanstilling, så det vil ikkje vere mogleg å empirisk samanlikne presisjon/dekning med N-grambaserte metodar her. I staden har eg prøvd å sjå på kva for fenomen som *kan* gi problem, og kva for informasjon som for ein spesifikk N-grambasert metode kan vere vanskeleg å hente ut; men dette er ein veikskap med evalueringa.

Eg gjer i tillegg ei samanlikning med materialet nytta i `RIA Open Source Rule Induction Tool` (Graham & Genabith, 2009; Graham et al., 2009), kor språka er tysk og engelsk. Dette materialet inkluderer f-strukturlenkjer for 4000 setningspar, fått via ein N-grambasert metode; her samanliknar eg overlapp i samanstillingane. Setningane, og setningslenkjene, er frå Europarl-korpuset (Koehn, 2005). LFG-analysane kjem frå handskrivne ParGram-grammatikkar (m.a. Kaplan et al., 2002), men er automatisk disambiguerte og setningssamanstilte (og inkluderer ein god del fragmentariske analysar); det er difor ganske ulikt det materialet eg elles har sett på.

5.2 N-grambaserte metodar

Dei fleste metodane for frasesamanstilling er N-grambaserte, dvs. at hovudkjelda for lenking er bottom-up-informasjon; difor er det naturleg å samanlikne metoden i `lfgalign` med slike metodar. Eg gir først ein kort introduksjon til korleis N-grambaserte metodar gir ordlenkjer og fraselenkjer, og ser så på kva lenkjer dette fører til. Det finst sjølvsagt svært mange ulike moglege metodar og variasjonar på temaet; for å avgrense diskusjonen konsentrerer eg meg om metoden nytta i Samuelsson & Volk (2007), som har som formål å konstruere ein parallell, fraselenkja trebank.

Och & Ney (2003, s. 20–21) gir eit grundig oversyn over ulike samanstillingsmetodar, først og fremst statistiske (og helst med maskinomsetjing som formål). Dei definerer ei samanstilling på det mest generelle som ei delmengd av det kartesiske produktet av ordposisjonane i to setningar. Viss $f_1^J = f_1, ..., f_j, ..., f_J$ er orda i setninga på kjeldespråket og $e_1^I = e_1, ..., e_i, ..., e_I$ er orda i setninga på målspråket[2], er ei samanstilling $\mathcal{A}$ gitt ved $\mathcal{A} \subseteq \{(j,i) : j = 1, ..., J; i = 1, ..., I\}$. Eitt kjeldeord kan altså vere lenkja til eitt eller fleire målord, og omvendt.

Å finne alle slike delmengder er ein komputasjonelt tung jobb, og ikkje eigentleg handterbart for vanlege setningslengder. I praksis vil spesifikke modellar prøve å avgrense dette, t.d. ved å krevje maksimalt eitt målord per kjeldeord, kor ein nyttar «det tomme ordet» for kjeldeord som ikkje er lenkja med noko målord. I litteraturen om statistiske metodar er ei slik mange-ein-samanstilling ei *ordsamanstilling*; når mange-mange-lenkjer er med har me ei *frasesamanstilling*.

Ei samanstilling er her altså ei mengd par av ordposisjonar. Det finst mange ulike måtar å komme fram til samanstillinga på; men grunntanken er at ord som oftare enn forventa opptrer saman i omsette setningar i eit korpus, sannsynlegvis er omsetjingar.

Dei vanlegaste metodane er basert på sannsynsmodellar[3], kor den beste samanstillinga a er den som får høgast skåre på $p(f_1^J, a|e_1^I)$, dvs. sannsynet for samanstillinga a og kjeldesetninga gitt målsetninga og parametrane i modellen. Verdien til parametrane finn ein ved å trene modellen på eit

[1] Korpuset måtte i tillegg vore LFG-analysert og disambiguert for at eg skulle kunne samanlikne med `lfgalign`. Eg veit heller ikkje enno om nokon statistisk frasestrukturparsar av høg kvalitet for georgisk; testsettet mitt derimot er ferdig parsa med LFG-parsaren frå Meurer (2008), c-strukturnodane avgrensar då kva som er ein syntaktisk konstituent.

[2] Kor e står for engelsk og f for fransk, sjølvsagt.

[3] Det finst au *heuristiske* metodar, t.d. basert på strenglikskap, eller på mål som *Mutual Information* eller Dice-koeffisienten (som kan vise om to ord førekjem oftare saman i omsetjingar enn ein ville forventa); men desse synest å gi dårlegare resultat enn statistiske metodar (Och & Ney, 2003).

parallellkorpus, kor ein god treningsmetode aukar den totale p for heile korpuset (dvs. produktet av p for alle setningane). For å finne p for ordsamanstillingar er det vanleg å nytte ein skjult Markov-modell, dvs. at p for heile setninga blir dekomponert til p for eitt enkelt kjeldeord, kor p av enkeltord er basert på p av orda som kjem før. (I tillegg vil ein ofte vekte på sannsynet for ei viss setningslengd gitt målsetninga, sidan lange setningar ofte blir omsett til like lange setningar, modulo språkforskjellar.) Det er mogleg å forenkle Markov-modellen til at p for eit enkeltord berre er avhengig av ordet som kjem rett før, noko som gjer utrekningane enklare (og lèt ein generalisere på bakgrunn av mindre data), men sjølvsagt gir ein mindre nyansert modell. Om me har forenkla modellen slik at p berre er avhengig av dei N orda som kjem før, har me ein N-grambasert modell.

Ein av dei vanlegaste treningsmetodane er *sannsynsmaksimering* (utførleg forklart i Prescher, 2004), som lèt ein rekne ut elles uhandterlege sannsynsproblem ved å iterativt endre modellparametrane slik at skårene blir betre. Eg gir her eit *svært forenkla* oversyn over korleis dette går føre seg. Me byrjar med å setje p_0 for alle moglege samanstillingar og ordpar til ein viss verdi, kanskje på ein tilfeldig måte. Så genererer me alle moglege samanstillingar til målkorpuset basert på kjeldekorpuset, kor kvar samanstillingsførekomst førekjem med ein frekvens som er vekta ved hjelp av p_0. Me tel opp samanstillingsførekomstene her i ein tabell; når me ser ordet *Es* i ei setning omsett til *There is*, vil tabellraden med *Es* få auka frekvensskåre i kolonnane til *There* og *is* – men sidan dette var vekta på p_0 treng ikkje dette talet vere 1 eller 0. Så går me gjennom korpuset slik og gir skårar for alle moglege ordomsetjingar, til slutt vil sannsynlegvis raden til *es* og *there* ha høgare skåre enn *es* og *is*. Me reknar så ut ein ny p_1 ved å telje opp dei relative frekvensane til alle tabellradene; dette blir nytta i neste iterasjon for å generere den neste mengda med samanstillingar. Det totale korpussannsynet[4] vil auke for kvar iterasjon, og til slutt flate ut. Som med fjellklatringssøk er me ikkje garantert å finne den beste løysinga med denne metoden (verdiane me har i p_0 har ofte mykje å seie), men me *er* garantert at korpussannsynet aldri vil bli mindre i neste iterasjon.

Om ein har funne mange-ein-lenkjene mellom ord frå begge sider av eit korpus, kan ein utleie mange-mange-lenkjer på ulike måtar. Gitt ei (kanskje usannsynleg) samanstilling frå tysk til engelsk {(Es,is), (gibt,is)}, dvs. ei mange-ein-lenkje frå *Es gibt* til *is*, og ei frå engelsk til tysk {(There,gibt), (is,gibt)}, kan me ta unionen av desse (med den eine retninga reversert), altså {(Es,is), (gibt,is), (gibt,There)}, som representerer ei mange-mange-lenkje mellom *Es gibt* og *There is*. Me kan au nytte berre snittet, som gir høgare presisjon, men lågare dekning. Koehn et al. (2003), allereie nemnt i kapittel 2, finn mange-mange-lenkjer for frasebasert statistisk maskinomsetjing ved å først ta snittet, og så leggje til frå unionen ved hjelp av ulike heuristikkar.

I Samuelsson & Volk (2007) nyttar dei liknande metodar for å finne ein N-gramtabell, altså ein tabell med kjelde-N-gram, mål-N-gram og sannsyn. Denne sender dei, saman med to frasestrukturannoterte einspråklege trebankar, gjennom eit *lingvistisk samanstillingsfilter* for å opprette ein frasesamanstilt parallell trebank. Viss ein frasestrukturnode i kjeldetrebanken svarer til ein frase i tabellen, og målfrasen i tabellen au er dekkja av ein node på målspråket, vil filteret opprette ei lenkje mellom nodane. N-gramtabellen er ikkje kopla til setningane, så teoretisk sett kan ein opprette lenkjer mellom alle moglege nodepar[5].

Lenkjene mellom frasestrukturtre i Samuelsson & Volk (2007) er ein-til-ein; dei skil seg slik formelt frå lenkjene i `lfgalign`. Sidan strengpara dominert av nodelenkjene er ei delmengd av mengda med N-gramkorrespondansar, kor desse altså er kontinuerlege ordstrenger utan kontekst, kan dei ikkje innehalde lenkjer mellom diskontinuerlege konstituentar. Sidan nodelenkjene er basert på ordstrenger vil dei heller aldri ha evidens for eller imot å leggje saman to nodar i ei mange-

[4] Korpussannsynet er produktet av p for alle setningane i heile korpuset, kor p for ei setning er summen av p for kvar samanstilling i setninga. Om modellen er god, vil auka sannsyn over heile korpuset seie at parametrane gir eit betre estimat av dei «faktiske» samanstillingane.

[5] Altså kunne ein ha lenkja frå to søsternodar på kjeldesida til høvesvis mor og dotter på målsida – noko som ikkje ville ha gitt meining. Men dette er lett å unngå ved å krevje at viss ein node n_s er lenkja til n_t, og er dominert av m_s som er lenkja til m_t, må m_t dominere n_t.

mange-lenkje (uansett om dei har dominans mellom seg, eller er diskontinuerlege[6]). Dette står i kontrast til c-strukturlenking basert på f-strukturforhold – her gir dei funksjonelle domena (saman med dominans) evidens for når ein skal sjå på to nodar som del av same mange-mange-lenkje. Med desse mange-mange-lenkjene mellom c-strukturnodar kan me utan problem tillate lenkjer mellom diskontinuerlege konstituentar. I tillegg vil nodar som, for skuld lenkinga, bør sjåast på som like, bli handsama som like ved å vere ein del av same mange-mange-lenkje.

Metoden i `RIA` (Graham & Genabith, 2009; Graham et al., 2009) finn f-strukturlenkjer frå ordlenkjer, med formålet å lage overføringsreglar for maskinomsetjing. Dei fjernar alle kantar i f-strukturgrafen som kan skape sirkularitet eller som deler sluttnode med andre kantar (og unngår dimed problemet med *reentrancy*, nemnt nedanfor). f-strukturen blir då, i lenkingsprosessen, ekvivalent med ein enkel trestruktur, slik at dei kan nytte ein liknande framgangsmåte som Samuelsson & Volk (2007). Dei nyttar f-strukturhierarkiet til å «normalisere» ordfølgja i setningane, før den automatiske ordlenkinga. Viss f-strukturane er korrekte og bygd på felles prinsipp, vil altså ordfølgja i inndata til ordlenkinga bli nokolunde lik (ytre predikat først, så første argument, så andre, osb.), noko som lettar den statistiske ordsamanstillingsprosessen. Dei lenkjar ikkje c-strukturnodar, sidan målet er å lage overføringsreglar på f-strukturnivå.

I del 5.3.2 ser eg på kor stor overlapp det er mellom dei f-strukturlenkjene metoden i `RIA` får, og dei `lfgalign` får. Kva f-strukturlenkjer `lfgalign` får er direkte avhengig av informasjonen me har om LPT-korrespondansar, så eg byrjar med å sjå på kor viktig denne avhengnaden er.

5.3 Kor avhengig er `lfgalign` av bottom-up-informasjon?

Eitt mål med denne oppgåva er å finne ut av kor lite bottom-up-informasjon ein kan klare seg med, når ein har LFG-analysane å stø seg på. Viss analysane er korrekte, og prinsippa for samanstilling er dekkjande, og implementasjonen av prinsippa er korrekt, er det berre LPT-informasjonen som avgjer om samanstillinga blir korrekt eller ikkje. Sidan c-struktursamanstillinga i `lfgalign` er avleidd av f-struktursamanstillinga, utan påverknad i andre retninga, vil det få følgjer for *heile* samanstillinga dersom manglar i bottom-up-informasjonen gir feil argument/adjunkt-lenking. Feil i c-struktursamanstillinga, derimot, vil ikkje få følgjer andre stader (gitt ei viss f-struktursamanstilling har me heller ingen «val» å ta for lenkinga her).

Setningsparet i (1) illustrerer problemet.

(1) a. abramsma brouns sigareti miacoda.
$\leftrightarrow$
b. Abrams rakte Browne sigaretten.

Om me ikkje har LPT-informasjon, blir den urangerte f-struktursamanstillinga:

(2) {(‘**mi-codeba**’, ‘**rekke-hand**’),
{(‘**Browne**’, ‘**Abrams**’), (‘**sigareti**’, ‘**Browne**’), (‘**Abrams**’, ‘**sigarett**’)}
{(‘**Browne**’, ‘**Abrams**’), (‘**sigareti**’, ‘**sigarett**’), (‘**Abrams**’, ‘**Browne**’)}
{(‘**Browne**’, ‘**Browne**’), (‘**sigareti**’, ‘**Abrams**’), (‘**Abrams**’, ‘**sigarett**’)}
{(‘**Browne**’, ‘**Browne**’), (‘**sigareti**’, ‘**sigarett**’), (‘**Abrams**’, ‘**Abrams**’)}
{(‘**Browne**’, ‘**sigarett**’), (‘**sigareti**’, ‘**Abrams**’), (‘**Abrams**’, ‘**Browne**’)}
{(‘**Browne**’, ‘**sigarett**’), (‘**sigareti**’, ‘**Browne**’), (‘**Abrams**’, ‘**Abrams**’)} }

[6]Sjølve trebanken (Samuelsson & Volk, 2006) og annotasjonsverktøyet for TreeAligner (tilgjengeleg frå http://kitt.cl.uzh.ch/kitt/treealigner under GNU GPL) opnar for manuelle mange-mange-lenkjer, men det er klart at når me går frå par av N-gram til par av frasestrukturnodar som dominerer same N-gram kan me ikkje få mange-mange-lenkjer.

Etter rangering får me då

(3) {(‘**mi-codeba**’, ‘**rekke-hand**’), (‘**Browne**’, ‘**sigarett**’), (‘**sigareti**’, ‘**Browne**’), (‘**Abrams**’, ‘**Abrams**’)}

som jo er feil (me får då au feil c-struktursamanstilling). Dette skjer pga. argumentstrukturane til dei to verba *ikkje* er parallelle[7] – ‘**mi-codeba**’ har <‘**Abrams**’, ‘**sigareti**’, ‘**Browne**’>, medan ‘**rekke-hand**’ har <‘**Abrams**’, ‘**Browne**’, ‘**sigarett**’>, og me har eit rangeringskriterium som føretrekkjer lik følgje over ulik. Men ved å t.d. leggje til informasjonen om at *brouns* og *Browne* har LPT-korrespondanse, får me:

(4) {(‘**mi-codeba**’, ‘**rekke-hand**’), (‘**Browne**’, ‘**Browne**’), (‘**sigareti**’, ‘**sigarett**’), (‘**Abrams**’, ‘**Abrams**’)}

Me kunne au klart oss med berre informasjonen om at *sigareti* og *sigaretten* har LPT-korrespondanse – så sjølv om LPT-korrespondanse kan vere viktig, viser dette dømet at ein ikkje treng *fullstendig* LPT-korrespondanse for å forbetre resultatet i enkelttilfelle.

Sidan dette er ei openberr feilkjelde, går eg her manuelt gjennom setningane i hovudtestsettet mitt[8] og utdata frå `lfgalign` for å sjå kor mange av dei som krev LPT-informasjon for å unngå feil lenkjer mellom argument/adjunkt av same predikat. Men merk: sjølv om dette testsettet viser mange ulike syntaktiske fenomen, er det langt frå å vere eit representativt korpus.

Tabell 5.1 viser, for kvart korresponderande og disambiguert setningspar i testsettet, kor mange ord setningane hadde og kor mange LPT-korrespondansar som måtte til for å ikkje få feil i argument/adjunkt-lenkinga (kolonnen «min. LPT»). For dei setningane der LPT-korrespondansar måtte til, viser kolonnen «moglege LPT-par» kva for moglege mengder med minimal LPT-informasjon som er nok for å få rett analyse (mange mengder i denne kolonnen vil altså seie at det er mange måtar å få rett analyse på). Der eit tal står i parentes har setningsparet andre problem enn berre LPT-korrespondanse som gjer at ikkje alt som skal bli lenkja, blir lenkja. Neste del gir eit par utdjupande kommentarar til analysane, medan i del 5.3.2 ser eg på forskjellane mellom f-strukturlenkjene frå `lfgalign` og dei lenkjene ein kan få ved å gå frå ordsamanstillingar frå f-strukturnormaliserte setningar.

5.3.1 Kommentarar og feilanalyse

Testsettet `mrs` har berre konstruerte døme og eit svært lite ordforråd. Det illustrerer ei vid rekkje syntaktiske fenomen, men omsetjingane er nok svært direkte.

Setning 4.pl og 5.pl på norsk er to alternative måtar å seie setning 4.pl på georgisk (men f-strukturane er like nok til at det ikkje gjer nokon forskjell for lenkinga)[9].

Setningsparet 38.pl/39.pl har argument som blir referert til fleire stader i f-strukturane, eg kjem tilbake til desse i del 5.4.2. Berre to setningspar fekk mange-ein-lenkjer på f-strukturnivå (2.pl/2.pl og 34.pl/35.pl); dette skjedde i omsetjing frå verb til hovudverb+hjelpeverb, eller frå verb til verb+refleksivt pronomen. Mange-ein-lenkjene ser ikkje ut til å ha vore noko problem i dette testsettet.

Men setning 67.pl og 68.pl, vist i (5) nedanfor, er problematiske:

[7] Det kan sjølvsagt vere gode grunnar (frå evidens på kvart av dei to språka) til at argumentstrukturane er ulike.

[8] Tilgjengeleg frå mappa `eval` i kjeldekoden til `lfgalign`, som finst på http://github.com/unhammer/lfgalign.

[9] Det finst ingen 8.pl på georgisk i tabellen sidan denne (som hadde tilsvart 9.pl på norsk) ikkje hadde analyse, difor manglar dette setningsparet – andre som manglar frå tabellen var anten ikkje disambiguerte eller hadde ikkje analysar. Eit par som ikkje var disambiguerte har eg sjølv manuelt disambiguert (norsk 0.pl og georgisk 3.pl). I setning 57.pl og 58.pl er eg usikker på kva den rette analysen bør vere (eller om har rette LFG-analysar), men meir LPT-informasjon vil iallfall ikkje endre på det.

(5) a. abramsis suraTi movida.
↔
b. Bildet av Abrams ankom.

Her er *abramsis* ein POSS under SPEC av f-strukturen til *suraTi*, i staden for å vere eit adjunkt eller argument (f-strukturen til *Abrams* står som argument til '**bilde**'). Programmet finn ikkje f-strukturar via andre stigar enn adjunkt eller argument til tidlegare kjende f-strukturar, eller via «yttarste» f-strukturar – dette er krav (10) frå kapittel 3. Sidan *abramsis* ikkje er mogleg å finne via argument/adjunkt av rotpredikatet, ender det opp i ei eiga liste for fragment ol. som kan lenkjast, men kor me ikkje veit noko om konteksten. Det blir altså handsama som eit av fleire yttarste predikat – men her burde det jo vere mogleg å finne det via *suraTi*. På den norske sida er *Abrams* mogleg å finne gjennom *bilde*, og er ikkje sett på som noko yttarste predikat, så *abramsis* og *av Abrams* blir ikkje lenkja.

Dette dømet demonstrerer ein veikskap med `lfgalign`: om ein skal køyre programmet med andre LFG-grammatikkar, som kanskje har andre retningslinjer for analyse eller har gjort ting på litt spesielle måtar, må ein kanskje leggje til fleire unntak eller meir «kunnskap» (ev. preprosessere analysane før lenking). Generelt kan dette forsåvidt vere eit problem med alle metodar som er svært kunnskapsbaserte.

Testsettet `sofie` er frå ein roman, og har difor litt friare omsetjingar enn `mrs`.

I setning 2.pl og 0.pl har konstruksjonen *være på vei hjem* blitt omsett til *bruneba*, direkte omsett 'dreie'. f-strukturane i (6) illusterer forskjellen (adposisjonane er fjerna for å få plass til figuren); i (7) ser me f-struktursamanstillinga som me får etter at *amundsen/Amundsen* og *skola/skole* er lagt til i LPT-tabellen.

(6) a. soPi amundseni skolidan brundeboda.
Sofie Amundsen skole.fra dreie.3SG.IMP.

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\textbf{*-bruneba}\langle\boxed{10}\rangle\text{'} \\ \text{SUBJ} & \boxed{10}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{`}\textbf{amundsen}\text{'}\end{bmatrix} \\ \text{ADJUNCT} & \left\{\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{`}\textbf{skola}\text{'}\end{bmatrix}\right\} \end{bmatrix}$$

↔

b. Sofie Amundsen var på vei hjem fra skolen.

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\textbf{være}\langle\boxed{23},\boxed{24}\rangle\text{'} \\ \text{SUBJ} & \boxed{23}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{`}\textbf{Amundsen}\text{'}\end{bmatrix} \\ \text{PREDLINK} & \boxed{24}\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\textbf{vei}\text{'} \\ \text{ADJUNCT} & \left\{\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{`}\textbf{hjem}\text{'} \\ \text{ADJUNCT} & \begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{`}\textbf{skole}\text{'}\end{bmatrix}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

(7) {('***-bruneba**', '**være**'), ('***-bruneba**', '**vei**'), ('**amundsen**', '**Amundsen**')}

Samanstillinga kjem ikkje djupare inn i f-strukturane enn dette. Her burde kanskje heile *være på vei hjem* lenkjast med *bruneba*, altså ei ein-til-tri-lenkje (på tri ulike nivå) på f-strukturnivå, for at me skal kunne lenkje '**skola**' og '**skole**'[10]. Om det finst mange slike situasjonar bør me kanskje

[10]Eller så kunne ein tenkje seg å «hoppe over» mellomliggande argument for å komme fram til det lenkbare ar-

opne for meir kompliserte lenkjer på f-strukturnivå. Merk at om me ikkje legg til *skola/skole* i LPT-tabellen får me samanstillinga i (8):

(8) {(‘***-bruneba**’, ‘**være**’), (‘**skola**’, ‘**vei**’), (‘**amundsen**’, ‘**Amundsen**’)}

Altså, slik implementasjonen av LPT-kravet fungerer kan positiv LPT-informasjon (det at me veit at eit ordpar har LPT-korrespondanse) føre til at lenkjer kan fjernast, medan me tillét lenkjene om me manglar informasjon. Så om eit ord har eit oppslag i LPT-tabellen i det heile, bør det eigentleg ha alle moglege oppslag, for å unngå å fjerne for mange gode lenkjer. Eg kjem tilbake til dette i del 5.4 nedanfor.

Setning 13.pl og 10.pl i `sofie` har liknande problem; for store forskjellar i argumentstruktur gir feil løysing.

(9) a. soPim klevervegenisken SeuHvia.
Sofie Kløverveien.mot svinge.3SG.PERF.

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{‘}\textbf{Se-Hveva}\text{<}\boxed{10},\boxed{17}\text{:pro},\boxed{15}\text{:pro>’} \\ \text{SUBJ} & \boxed{10}\left[\text{PRED} \quad \text{‘}\textbf{soPi}\text{’}\right] \\ \text{ADJUNCT} & \left\{\left[\text{PRED} \quad \boxed{5}\ \text{‘}\textbf{klevervegeni}\text{’}\right]\right\} \end{bmatrix}$$

$\leftrightarrow$

b. Nå svingte hun inn i Kløverveien.

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{‘}\textbf{svinge}\text{<}\boxed{18}\text{:hun>’} \\ \text{ADJUNCT} & \left\{\boxed{5}\left[\text{PRED} \quad \text{‘}\textbf{inn}\text{’}\right], \boxed{6}\left[\text{PRED} \quad \text{‘}\textbf{nå}\text{’}\right]\right\} \end{bmatrix}$$

(10) {(‘**Se-Hveva**’, ‘**svinge**’), (‘**pro**’, ‘**hun**’), (‘**pro**’, ‘**nå**’), (‘**soPi**’, ‘**inn**’)}

f-strukturane i (9) gir lenkinga i (10). Desse pro-elementa på georgisk skal sjølvsagt *ikkje* lenkjast med adjunkta på norsk; her har me «overgenerering» av lenkjer pga. me opnar for argument-adjunkt-lenkjer. Slik `lfgalign` fungerer no, kan ein unngå at pro blir lenkja til adjunkt ved å leggje inn LPT-informasjon om adjunkta (ev. krevje at pro *berre* kan lenkjast til nominalar). Om me legg inn ei omsetjing for *nå*, får me samanstillinga i (11):

(11) {(‘**Se-Hveva**’, ‘**svinge**’), (‘**pro**’, ‘**svinge**’), (‘**pro**’, ‘**hun**’), (‘**soPi**’, ‘**inn**’)}

Denne samanstillinga er kanskje er hakket betre, men sidan mange-mange-lenking berre er to-til-ein så langt, vil LPT-informasjon om *både* ‘**nå**’ og ‘**inn**’ resultere i at denne setninga *ikkje får nokon lenking*. Dette er kanskje å føretrekkje, når me først skal krevje likskap i argumentstruktur for å lenkje[11]. Då er det opp til grammatikarane om dei vil sjå på omsetjinga som argument for at det georgiske verbet har ei alternativ tyding med berre eitt argument, og endre grammatikkane til ei seinare utgåve av trebanken.

gumentet, altså berre lenkje ‘**være**’ med ‘***-bruneba**’ og ‘**skole**’ med ‘**skole**’ – men noko slikt ville involvert store endringar i krava for f-strukturlenking.

[11] Om eit slikt setningspar er gitt til ein N-grambasert metode, vil det sjølvsagt gi evidens for at t.d. *nå* og det georgiske verbet skal lenkjast – ikkje noko me vil ha i ein trebank. Men, om *nå* sjeldan står i omsetjingar av *SeuHvia* vil det sannsynlegvis aldri bli oppretta slike lenkjer.

5.3.2 Overlapp med `RIA`

Det andre testsettet mitt er ei mengd med 4000 automatisk setningslenkja setningspar på tysk og engelsk, med automatisk disambiguerte LFG-analysar. Eg samanliknar her f-strukturlenkjene ein får ved å køyre `lfgalign` med dei lenkjene som kjem frå `RIA`-metoden[12] i Graham & Genabith (2009); Graham et al. (2009). Eg prøver både utan nokon informasjon i LPT-tabellen, og med ein ganske stor LPT-tabell med alle oppslaga frå Ding-ordboka[13]. I tillegg køyrer eg testane med delmengder av testsettet kor eg har filtrert ut analysar med mange «yttarste f-strukturar», for å sjå kva innverknad dei har på resultatet.

Samanlikninga skjer ved å, for kvar setning i korpuset, telje opp kor mange lenkjer som finst i snittet mellom dei f-strukturlenkjene som er i `RIA` og dei som `lfgalign` gir. Dette kan me samanlikne med kor mange f-strukturlenkjer `RIA` har i det heile for å få ein slag «dekning», og med kor mange lenkjer `lfgalign` har for å få «presisjon» – denne tolkinga føreset sjølvsagt at `RIA`-lenkjene er korrekte.

Viss me har to setningar som kvar har tri PRED-element, finst det seks måtar å lenkje desse på slik at alle blir lenkja. Viss `lfgalign` har same samanstilling som `RIA`, vil snittet av dei to samanstillingane ha like mange lenkjer som `RIA`-samanstillinga har, og like mange som `lfgalign`-samanstillinga har. Viss det finst eit element som er ulenkja i samanstilling til `lfgalign`, vil snitt / `RIA` gå ned (dekning), medan snitt / `lfgalign` held seg likt (presisjon). For å få ein peikepinn på kor mykje likskapen har å seie (ein slag indikasjon på effektstyrke), har eg au køyrt ein baseline-modell på testsettet, som berre opprettar tilfeldige lenkjer mellom lenkbare PRED-element (slik at flest mogleg ein-til-ein-lenkjer blir oppretta; denne modellen har ingen mange-mange-lenkjer).

Desse tala seier sjølvsagt ingenting om kva for lenkjer som er *korrekte*. Men, lenkjene i `RIA`-testmaterialet kjem via ordsamanstillingsmetoden i Och & Ney (2003), kor «even on a tiny corpus of only 500 sentences, alignment error rates under 30% are achieved for all models [for English-German], and the best models have error rates somewhat under 20%» (Och & Ney, 2003, s. 36). Feilraten til modell 6, som `RIA` nyttar, går under 10 % ved korpora på fleire tusen ord. Om f-strukturlenkjene i `lfgalign` har stor overlapp med dei i testsettet er det altså sannsynleg at mange av dei er korrekte, om det er stor forskjell er det sannsynleg at `lfgalign` tek feil. Men jo større overlappet er, jo større sjanse er det for at `lfgalign` kan ha rett og `RIA` tek feil der dei ikkje gir same svar.

Tabell 5.2 viser resultatet av samanlikninga[14]. Kolonnen *snitt* viser summen av kor mange lenkjer som var felles for kvart setningspar, mellom `RIA` og dei tri testmetodane (`lfgalign` med og utan informasjon i LPT-tabellen, og ein tilfeldig baseline). Ved å dele dette talet på kor mange lenkjer `RIA` hadde, får me ei enkel samanlikning av dei to testmetodane – viss forholdet var 100 % ville altså alle lenkjene vore like, og testmetoden ville ha funne alle lenkjene som `RIA` fann (dekning). Viss forholdet mellom snittet og lenkjene i testmetoden var 100 % ville alle lenkjene i testmetoden ha vore inkludert i `RIA` (presisjon). Samanlikninga er køyrt med ulike delmengder av testsettet; i dei tri første radene har eg fjerna alle setningar som hadde meir enn ein yttarste PRED utanom rot-f-strukturen (denne har alltid indeks `0` i dette formatet og er lett å identifisere); i dei neste har eg i tillegg med dei som hadde maksimalt ein annan yttarste PRED, osb. (kolonnen *yttarst*).

[12] Prolog-filene med f-strukturar, og lenkjer mellom f-strukturar, for 4000 parallelle setningar finst i kjeldekoden til `RIA`, tilgjengeleg frå http://www.computing.dcu.ie/ỹgraham/software.html under GNU Lesser General Public License. I tillegg finst Prolog-filer som inkluderer c-strukturar for 1000 setningar på http://www.computing.dcu.ie/ỹgraham/sample_de.tar.gz og http://www.computing.dcu.ie/ỹgraham/sample_en.tar.gz.

[13] Tilgjengeleg frå http://www-user.tu-chemnitz.de/f̃ri/ding/ under GNU GPL, konvertert til Prolog-format med skriptet `dev/ding-to-LPT.py` (i kjeldekoden til `lfgalign`). Ordboka har omtrent 270 000 oppslag; men sidan ein del av dei involverer alternative omsetjingar tek eg det kartesiske produktet av alle slike alternativ, og ender opp med 418 492 par av token (men 190 284 av desse har mellomrom i seg, og fungerer sannsynlegvis ikkje som LPT-omsetjingar). Eg har ikkje rekna ut dekninga på ordboka.

[14] Testen blei køyrt på revisjon `796824e8f1a0bd643caf9d3928fe0f979a360790` av `lfgalign`. Sjå tillegg A.

Det er tydeleg at overlappet mellom RIA og lfgalign er ganske lågt på dette materialet, men det er iallfall meir enn dobbelt så stort som ein ville forvente om det ikkje var nokon likskap. Ved manuelt gjennomsyn ser det ut til at der dei har ulike lenkjer, er det lfgalign (av og til begge) som tek feil.

Det som au er slåande er kor negativt ordboka speler inn på dekninga. Det er lfgalign som har færrast lenkja PRED-element av alle metodane der me har med det fulle testsettet (og dekninga er spesielt låg der ordboka er med). Viss me derimot har fjerna analysar som har fleire «yttarste PRED», har lfgalign (utan ordbok) faktisk fleire enn RIA (lfgalign kan føye saman eitt predikat og argument i lenkinga, noko RIA og baseline-modellen ikkje gjer, men det ser ikkje ut til at dette speler så veldig sterkt inn på kor mange lenkjer me får).

Tidlegare nemnte eg at positiv LPT-informasjon kan føre til at lenkjer blir fjerna – dette blir ganske tydeleg her. Når ordboka er med, får lfgalign, relativt konsekvent, berre ein fjerdedel så mange lenkjer som RIA. Det er kanskje ein del feil blant lenkjene i RIA-testsettet; men sjølv om halvparten av lenkjene til RIA var feil, burde me sjå høgare snitt mellom lfgalign og RIA viss ordboka førte til betre lenkjer. Det viser seg allereie med første ord i testsettet kvifor dette skjer: ordboka omset engelsk *adoption* med tysk *Adoption* (og gir ingen andre omsetjingar), medan *adoption* i denne setninga er nytta i ei anna tyding og blir omsett til *Genehmigung* (som har ti andre omsetjingar i Ding, men altså ikkje den me er ute etter). Det er sannsynleg at dei gjenståande lenkjene er av høg presisjon, men med ei så låg dekning (12 % på det fulle testsettet viss RIA har rett, 8 % viss me ser på alle lenkbare predikat) er nok ikkje samanstillinga veldig nyttig. Eg diskuterer ei mogleg løysing på dette problemet i del 5.4.

Dette testsettet har svært mange «yttarste f-strukturar» (gjerne over ti i kvar setning, i snitt fire per setning, medan gjennomsnittleg setningslengd i materialet er 9,8 ord). Implementasjonen min reknar ein f-struktur for å vere ein av desse yttarste om han ikkje er referert til som argument/adjunkt av andre f-strukturar; dette kan vere fordi analysane er fragmentariske, eller analysane rett og slett ikkje har ein sti til desse PRED-elementa som går via argument/adjunkt. Det siste gjeld t.d. POSS- og SPEC-element, som nemnt over. Desse er gjerne kvantorar, possessivar eller artiklar. Av 4000 setningspar har 1473 blitt merka som fragmentariske på iallfall den eine sida; men 3948 av dei 4000 har i følgje lfgalign meir enn eitt yttarste PRED (dvs. at det berre er 52 setningspar i dei første tri radene i tabell 5.2). Hovudgrunnen til at setningar i dette testsettet har fleire yttarste PRED-element er altså at slike POSS- og SPEC-element, eller liknande, ikkje er mogleg å finne gjennom argument eller adjunkt frå rot-f-strukturen.

Yttarste f-strukturar blir handsama som om dei er på same nivå i f-strukturen – viss det eigentleg finst ein intern struktur mellom desse blir det ignorert. Det vil seie at for store delar av analysane får lfgalign ingenting ut av f-strukturen. Sidan programmet er meint for trebankbygging med høg presisjon treng det ikkje vere negativt at dekninga er *litt* lågare, men når det gjeld SPEC- og POSS-element bør det ikkje vere alt for vanskeleg å utvikle litt meir nyanserte lenkingskriterium som au kan handtere desse.

Ein annan tydeleg, men kanskje ikkje overraskande, trend i tabellen er at «presisjonen» til lfgalign med og utan ordbok nestan er heilt lik der me ikkje har med fleire yttarste PRED (kor dei resterande f-strukturane altså er svært informative), 52 % utan og 56 % med ordbok. Men med ei gong me legg til «flate» f-strukturar, får me store forskjellar mellom dei to metodane i presisjons-kolonnen – 30 % utan og 46 % med ordbok. Jo mindre struktur analysane gir oss (eller, jo mindre me er i stand til å hente ut), jo meir avhengig er me av bottom-up-informasjon.

I Xpar-prosjektet vil me nok forvente meir «komplette» analysar enn dei som finst i dette test-settet, som altså hadde svært mange fragment (og i tillegg til automatisk disambiguering). Likevel bør det vere mogleg å gjere noko for å betre på yteevna når analysane er fragmentariske; eg kjem tilbake til dette nedanfor.

Eit anna problem som blir tydeleg med denne evalueringa er at lange lister med argument el-

ler adjunkt raskt blir komputasjonelt vanskeleg. For «vanlege» lister med argument/adjunkt (t.d. to argument og tri-fire adjunkt), er det ikkje merkbart at alle moglege kombinasjonar av argument/adjunkt blir prøvd lenkja; men når det er snakk om ti «adjunkt» (her: yttarste f-strukturar) på kvar side, og ingen LPT-tabell, tek det `adjalign` ca. 46 sekund (på ein vanleg datamaskin med 2,1 GHz, 3GB RAM) å finne alle moglege lenkjekombinasjonar. For å i det heile komme meg gjennom testsettet måtte eg setje ei grense på `lfgalign` i denne evalueringa slik at me berre vel første lenkjekombinasjonen viss adjunktlistene har over åtte medlem[15]. Med så flate strukturar og ingen LPT-informasjon er det nok usannsynleg å ende opp med rett kombinasjon uansett. Med denne «avskjeringa» på plass tok heile testsettet på 4000 setningspar rett under tri timar å samanstille når eg ikkje hadde nokon informasjon i LPT-tabellen med (med ordboka tok det under eitt minutt, her blir altså *svært mange* løysingar avskjert; me får sjølvsagt au raskare samanstilling med færre yttarste PRED). Det kan hende at lenkjeoverlappet hadde vore litt høgare med eit fullstendig søk, men avskjeringa skjer berre på omtrent kvart tiande setningspar, så den endelege verknaden på resultata i tabell 5.2 (dei siste tri radene) er nok ikkje stor.

Om ein skal konkludere noko frå denne samanlikninga må det vere at:

1. Fragmentariske f-strukturar gir dårleg samanstilling (garbage in, garbage out)
2. Det finst fleire PRED-element i f-strukturane som me ikkje finn via argumentlister eller adjunktmengder, men som me burde kunne lenkje (krava frå kapittel 3 må utvidast for å handtere desse)
3. Me kan ikkje stole på at ei ordbok har alle dei moglege omsetjingane av eit ord – implementasjonen av LPT-kravet må bli litt meir nyansert
4. Jo mindre top-down-informasjon f-strukturane gir, jo viktigare er bottom-up-informasjonen i LPT-tabellen

Nedanfor ser eg på moglege måtar å betre på systemet etter denne lærdommen.

5.4 Opne problem og moglege løysingar

I denne delen diskuterer eg nokre opne problem, og moglege strategiar for å betre metoden.

5.4.1 Fragmentariske analysar og «mjuk» LPT-korrespondanse

Som nemnt i del 5.3.2 har `lfgalign` problem med fragmentariske f-strukturanalysar, både når det gjeld effektivitet, og presisjon.

Éin mogleg strategi for å handsame desse vil vere å dele opp lenkingsoppgåva slik at me først finn fragment som sannsynlegvis korresponderer (ein god heuristikk er ganske enkelt ordfølgje), og så sender kvar av desse til vanleg f-strukturlenking. Men der fragmenta ikkje overlappar vil me få problem. Ein av grunnføresetnadene til `lfgalign` er at analysane har ein viss likskap, og er korrekte; ei god løysing på dette problemet vil nok gå utover oppgåva.

Ein annan strategi, som iallfall løyser problemet med effektivitet, er å gjere eit ufullstendig søk etter adjunktpermutasjonar. Det å finne alle kombinasjonar av lenkjer mellom «flate» f-strukturar der me har over åtte ord på kvar side tek for lang tid til at det blir nyttig. Ei filtrering av moglege lenkjer basert på t.d. LPT-korrespondanse kan gjere ei betre avskjering enn me får med berre ordfølgje. Dette kan ha andre gode sideverknader.

[15] Eg gjorde ingen slike avskjeringar for argumentpermutasjonane.

Ufullstendig informasjon i LPT-tabellen kan, som nemnt i del 5.3.1 og 5.3.2, føre til at programmet avskjerer for aggressivt. Jo friare omsetjingane er når det gjeld ordval, jo større blir dette problemet.

I implementasjonen bør kanskje kravet om LPT-korrespondanse difor bli eit rangeringskriterium, slik at me ikkje treng stole på at bottom-up-informasjonen vår er perfekt. Eg har ikkje prøvd å implementere dette enno, men det bør vere fullt mogleg å endre på `argalign` og `adjalign` slik at dei berre leverer dei *k* beste argument-/adjunkt-permutasjonane (altså eit ufullstendig søk). Dette vil nok gjere lenkinga litt raskare, i tillegg til at me iallfall returnerer minst éi løysing sjølv om eit målord ikkje står i mengda med omsetjingar frå kjeldeordet[16].

5.4.2 Top-down-lenking av f-strukturar, og problemet med sykliske grafar

I `RIA`-testsettet var f-strukturar forenkla slik at det ikkje var nokon sykliske stiar. Men det er svært vanleg i LFG-analysar at f-strukturane er sykliske eller har fleire stiar til same element. Setningsparet i (12), 38.pl/39.pl i `mrs`-testsettet, har ein enkel form for dette fenomenet; både på kjelde- og målsida opptrer subjektet til hjelpeverbet au som subjekt for hovudverbet/verbalsubstativet:

(12) a. jaGls qePa unda.
hund.DAT bjeffe.3SG vil.PRES.IMP

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{‘}\mathbf{ndoma}\text{<}\boxed{3}\text{,}\boxed{6}\text{>’} \\ \text{SUBJ} & \boxed{3}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\mathbf{jaGli}\text{’}\end{bmatrix} \\ \text{OBJ} & \boxed{6}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\mathbf{*\text{-}qePa}\text{<}\boxed{3}\text{>’’}\end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$\leftrightarrow$

b. Hunden vil bjeffe.

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{‘}\mathbf{root\text{-}ville}\text{<}\boxed{8}\text{,}\boxed{9}\text{>’} \\ \text{SUBJ} & \boxed{8}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\mathbf{hund}\text{’}\end{bmatrix} \\ \text{XCOMP} & \boxed{9}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\mathbf{bjeffe}\text{<}\boxed{8}\text{>’’}\end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

(13) {(‘**ndoma**’, ‘**root-ville**’), (‘***-qePa**’, ‘**bjeffe**’), (‘**jaGli**’, ‘**hund**’), (‘**jaGli**’, ‘**hund**’)}

I (13) ser me løysinga som `lfgalign` gir; her kjem subjektlenkjene to gonger, men sidan me uansett reknar samanstillinga som ei *mengd* av lenkjer bør dette vere uproblematisk.

Men setningsparet i (14) er vanskelegare. Predikata i setningane bør kunne lenkjast, men analysane gir oss nokre intrikate problem.

(14) a. Dafür bin ich zutiefst dankbar
for.det er eg djupt takknemleg

[16]For å ta dette eit steg vidare kan me flytte sjølve rangeringa inn i f-strukturlenkinga, som nok vil gjere implementasjonen endå litt meir effektiv. Dette kan relativt enkelt gjerast ved å endre rekursive kall på `f-align` til kall på `rank(f-align)`, og endre `rank` til å levere ei liste med dei *k* beste alternativa. Men, det synest som om flaskehalsen er generering av argument-/adjunkt-permutasjonar, så eg veit ikkje kor mykje dette vil ha å seie; i tillegg er det kanskje nyttig i visse tilfelle å kunne sjå fleire fullstendige løysingar.

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{‘}\textbf{bin}\text{<}\boxed{5}, \boxed{1}\text{>’} \\ \text{SUBJ} & \boxed{5}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\textbf{ich}\text{’}\end{bmatrix} \\ \text{XCOMP} & \boxed{1}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\textbf{dankbar}\text{<}\boxed{5}, \boxed{3}\text{>’} \\ \text{OBJ} & \boxed{3}\ \text{‘}\textbf{für}\text{<da>’}\end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$\leftrightarrow$

b. I have a deep appreciation for that
Eg har ei djup takksemd for det

$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{‘}\textbf{have}\text{<}\boxed{4}, \boxed{2}\text{>’} \\ \text{SUBJ} & \boxed{4}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\textbf{I}\text{’}\end{bmatrix} \\ \text{XCOMP} & \boxed{2}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\textbf{appreciation}\text{’} \\ \text{ADJUNCT} & \left\{\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\textbf{for}\text{<that>’}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

I `lfgalign` vil me kunne lenkje ‘**bin**’ og ‘**have**’, med LPT-korrespondanse mellom ‘**ich**’ og ‘**I**’ og mellom ‘**dankbar**’ og ‘**appreciation**’. Når me prøver å lenkje ‘**dankbar**’ med ‘**appreciation**’ har me LPT-korrespondanse mellom ‘**da**’ og ‘**that**’, men me finn ingenting å lenkje ‘**ich**’ med. Dette argumentet har LPT-korrespondanse med ‘**I**’, og er jo allereie lenkja med ‘**I**’ sidan det er identisk med subjektet til ‘**bin**’ – men når me ser det igjen på eit djupare nivå har me ingen element på det nivået å lenkje med. Verken krava i kapittel 3 eller implementasjonen av dei tek innover seg slike problem.

For å gjere det litt meir generelt, er problemet her strukturar av typen i (15):

(15) a.
$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{‘}\textbf{p}\text{<}\boxed{1}, \boxed{2}\text{>’} \\ \text{SUBJ} & \boxed{1}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\textbf{ich}\text{’}\end{bmatrix} \\ \text{XCOMP} & \boxed{2}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\textbf{q}\text{<}\boxed{1}\text{>’}\end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$\leftrightarrow$

b.
$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{‘}\textbf{r}\text{<}\boxed{3},\boxed{4}\text{>’} \\ \text{SUBJ} & \boxed{3}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\textbf{I}\text{’}\end{bmatrix} \\ \text{XCOMP} & \boxed{4}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{‘}\textbf{s}\text{’}\end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Me føreset at ‘**p**’ og ‘**r**’ har LPT-korrespondanse, det same med ‘**q**’ og ‘**s**’ og ‘**ich**’ og ‘**I**’. Ein *kan* gjere unntak i krav (8) om at argument som allereie har ei lenkje på ytre nivå ikkje skal lenkjast – altså må eit argument berre lenkjast «ein gong». Dette bør løyse problemet over (og bør ikkje vere for vanskeleg å implementere heller). Me gjer altså eit unntak frå kravet om at alle argument skal finne LPT-korrespondanse hos argument/adjunkt av omsetjinga, sidan dei allereie har LPT-korrespondanse med argument/adjunkt av eit ytre predikat. Dette blir ein slag omsetjingsskifte (på argumentstrukturnivå), og lenkinga bør nok vere open for slike skifte.

Men ein variant av situasjonen over kan gi litt større problem, iallfall implementasjonsmessig. I (17) kan me tenkje oss at den ønskelege lenkinga er, som i (15):

(16) {(‘**p**’,‘**r**’),(‘**q**’,‘**s**’),(‘**ich**’,‘**I**’)}.

Den einaste relevante forskjellen frå (15) er at i (15) står '**I**' berre som argument av ytre PRED, medan i (17) står '**I**' berre som argument av indre PRED.

(17) a.
$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\mathbf{p}\langle\boxed{1},\boxed{2}\rangle\text{'} \\ \text{SUBJ} & \boxed{1}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{`}\mathbf{ich}\text{'}\end{bmatrix} \\ \text{XCOMP} & \boxed{2}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{`}\mathbf{q}\langle\boxed{1}\rangle\text{'}\end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$\leftrightarrow$

b.
$$\begin{bmatrix} \text{PRED} & \text{`}\mathbf{r}\langle\boxed{3}\rangle\text{'} \\ \text{XCOMP} & \boxed{3}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{`}\mathbf{s}\langle\boxed{4}\rangle\text{'} \\ \text{SUBJ} & \boxed{4}\begin{bmatrix}\text{PRED} & \text{`}\mathbf{I}\text{'}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Då er det eit problem at me følgjer krav (10) frå kapittel 3, og går top-down i f-strukturlenkinga i `lfgalign`. Når me skal lenkje '**p**' og '**r**' vil me ikkje finne ein argumentpermutasjon (ein-til-ein LPT-korrespondanse) som fyller krav (8) – '**q**' og '**s**' har LPT-korrespondanse, så dei oppfyll kravet, men '**ich**' har ikkje noko som svarer til seg blant argument/adjunkt av '**r**'. Då vil me heller aldri prøve å lenkje '**q**' og '**s**', som kunne fortalt oss at '**ich**' ikkje trengte nokon LPT-korrespondanse ved lenking av '**p**' og '**r**'.

Det er sjølvsagt mogleg å køyre top-down-metoden frå fleire startpunkt i f-strukturane dersom dei første ikkje går, så kan ein kanskje sjå i ettertid om det finst argument til overs som ikkje fann LPT-korrespondanse. Ein annan utveg vil vere å (1) ha ei liste over over argument som opptrer fleire stader i f-strukturen, her berre '**ich**' (dette er lett å lage); og (2) når `argalign` ikkje finn nokon argumentpermutasjonar, men ser at '**ich**' opptrer innanfor eitt av dei andre argumenta, prøve å lage nye argumentpermutasjonar kor '**ich**' er ignorert. Helst bør ein då au krevje at `f-align` kalt på det andre argumentet har fått lenkja '**ich**'. Men om ein må gjere slike kompliserte unntak er det kanskje eit teikn på at ein må vurdere heile metoden på nytt.

På den andre sida, viss situasjonen i (17) ikkje dukkar opp i faktiske analysar, så kan det hende at top-down-metoden er «god nok». Til no har eg ikkje sett slike situasjonar, men det er altså logisk mogleg at dei kan dukke opp.

5.5 Bruksområde

Her ser eg kort på moglege bruksområde for samanstillingsannotasjonen frå `lfgalign`, utover det ein får med «vanlege» frasesamanstillingsmetodar.

Formålet med annotasjonen er jo å lage ein trebank for lingvistisk forsking. Når ein har både LFG-analysane og samanstillinga av kvart setningspar i ein trebank, blir det mogleg å leite etter t.d. alle førsteargument som er lenkja til ikkje-førsteargument, eller få ei liste over lenkjer mellom frasar med ulik kasus, eller alle PP-ar lenkja til NP-ar som dominerer ein ulenkja PP, osb. Og med eit grensesnitt som skildra i Dyvik et al. (2009) blir dette endå enklare, for dei spørjingane grensesnittet tillèt.

Sjølv der programmet kan tek feil i enkelttilfelle, kan ein få nyttig informasjon ved å sjå på samanstillingane over heile trebanken. I døme (7) i kapittel 3.6.1 viste eg at, sjølv med fullstendig LPT-informasjon kan det finnast tilfelle der me ikkje har nok informasjon til å kunne handtere ulik følgje i argumentstruktur. Programmet mitt vil her finne to løysingar; ei rangering basert på lik argumentfølgje vil gi feil løysing på topp. Men om me nyttar data frå *fleire førekomstar* (med andre subjekt og objekt) kan me kartleggje slike argumentstrukturskifte; t.d. vil me i *der Tonfall gefällt*

mir nicht/jeg liker ikke tonen ha nok LPT-informasjon til å finne rett løysing. Med ein trebank annotert med f-strukturlenkjer vil slik kartlegging ikkje involvere meir enn å gjere spørringar etter subjekt lenkja til objekt og omvendt.

Om ein er ute etter å sjekke om to grammatikkar verkeleg er så parallelle som dei er meint å vere, vil sjølvsagt `lfgalign` au vere praktisk, sidan umotiverte forskjellar lett kan føre til feil lenking. Ein kan au nytte programmet under utvikling av ein ny grammatikk for å kontrollere om like fenomen faktisk får lik analyse, men dette gjeld sjølvsagt berre «lenkingskandidatane» – dei delene av analysane som kan få lenkjer.

Sidan samanstillingane er direkte avleidd frå utdata frå grammatikkar, bør `lfgalign` vere mogleg å integrere i ein inkrementell metode for trebankoppbygging, kor ein kontinuerleg modifiserer grammatikkane på bakgrunn av arbeidet med manuell disambiguering av ein trebank. Rosén & De Smedt (2007) kallar dette *parsebanking*, her kan me kanskje snakke om *parallell parsebanking*. Dette kan au vere ein nyttig strategi der det er lite parallell språkdata, utover det ein skal lenkje (slik situasjonen er for dei fleste språkpara i Xpar-prosjektet). Dei fleste frasesamanstillingsmetodar er avhengig av parallellkorpora på tusenvis av setningspar for å lage N-gramtabellar, sjølv om målet berre er å lenkje eit korpus på eit par hundre setningspar. Men i den situasjonen der nokon har skrive ein grammatikk for språka, kan me få gode samanstillingar ved hjelp av top-down-lenking på dei grammatiske analysane. Med eit godt brukargrensesnitt for val av alternative samanstillingar kan ein til og med klare seg utan å gi ordomsetjingar til programmet.

Sjølv om eg her har argumentert for at formålet med metoden i denne oppgåva er å lage annotasjonar som er nyttige for språkstudium, er det ikkje umogleg at desse kan vere nyttige for applikasjonsformål. Predikat-argumentstruktur har m.a. vore nyttig i fleirspråkleg anaforresolusjon og informasjonsgjenfinning (Surdeanu et al., 2003; Azzam et al., 1998), medan fraselenkjer generelt kan vere nyttige for alle typar overvåka læring av fleirspråklege korrespondansar. Sjølvsagt bør det au vere mogleg å nytte annotasjonen i maskinomsetjing, t.d. til læring av overføringsreglar som i Riezler & Maxwell (2006); Graham et al. (2009), men då må ein nok endre LPT-kravet til å ikkje tillate lenkjer mellom pronomen og NP-ar.

5.6 Oppsummering

Implementasjonen stiller høge krav til inndata: det må vere ferdig disambiguert og setningslenkja, og analysane må sjølvsagt vere korrekte (iallfall når det gjeld argumentstruktur). I tillegg må grammatikkane som gav analysane vere fundert på like prinsipp, for å få best mogleg resultat. Det kan au oppstå problem viss ein køyrer programmet på analysar frå grammatikkar som, sjølv om dei er fundert på like prinsipp, har svært ulike måtar å representere ulike grammatiske fenomen enn det grammatikkane i Xpar-prosjektet her (t.d. viss mange PRED-element ikkje er mogleg å finne igjen frå argumentlister eller adjunktmengder). Evalueringa viser at det er ein del arbeid som gjenstår med både dei ideelle krava og implementeringa. Men det er allereie med dette systemet mogleg å få ut nyttig lenkingsinformasjon.

Me kan nok betre skårane på kvantitative mål som presisjon og dekning ved å implementere nokre av forslaga nemnt i del 5.4. Det ville au vore interessant å teste denne metoden opp mot N-grambaserte metodar på eit språkpar som norsk-georgisk, kor dei syntaktiske forskjellane er større; her må det meir evalueringsdata til.

Men i tillegg til desse måla, vil lenkjene til `lfgalign` gi informasjon som er kvalitativt forskjellig frå det ein kan få med å berre sjå på lenkjer mellom ord, n-gram, konstituentar eller dependensstrukturar åleine. Me har ei integrert mengd med lenkjer på ulike nivå. Og sidan avbildinga frå c-strukturnodar til f-struktur er mange-til-ein, kan me innanfor eitt tre ha fleire «N-gram» per f-strukturhovud; dette gjer at me kan ha diskontinuerlege mange-mange-lenkjer på c-strukturnivå. Slike relasjonar kan me ikkje finne med ein metode som berre ser på lenkjer mellom konstituent-

delmengdene av ein N-gramtabell (Samuelsson & Volk, 2007) eller ein metode som ikkje har ei kopling frå f-struktur til c-struktur (Graham et al., 2009).

Tabell 5.1: Kor mykje bottom-up-informasjon treng me for å lenkje argument/adjunkt korrekt? Kolonnane l_s og l_t er lengd på setningane.

setning	l_s	l_t	min. LPT	moglege LPT-par
mrs 0.pl 0.pl	1	2	0	
mrs 1.pl 1.pl	2	2	0	
mrs 2.pl 2.pl	3	2	1	{(ga-Geba,pro)}, {(PanJara,vindu)}
mrs 3.pl 3.pl	3	3	0	
mrs 4.pl 4.pl	4	4	1	{(Browne,Browne)}, {(sigareti,sigarett)}
mrs 4.pl 5.pl	4	5	1	{(Browne,Browne)}, {(sigareti,sigarett)}
mrs 5.pl 6.pl	6	10	1	{(Abrams,Abrams)}, {(sigareti,sigarett)}
mrs 6.pl 7.pl	4	5	0	
mrs 7.pl 8.pl	3	4	0	
mrs 9.pl 10.pl	3	3	0	
mrs 10.pl 11.pl	5	5	0	
mrs 11.pl 12.pl	3	3	0	
mrs 12.pl 13.pl	2	2	0	
mrs 16.pl 17.pl	2	2	0	
mrs 19.pl 20.pl	2	2	0	
mrs 22.pl 23.pl	3	3	0	
mrs 23.pl 24.pl	2	2	0	
mrs 24.pl 25.pl	3	3	0	
mrs 25.pl 26.pl	3	4	0	
mrs 26.pl 27.pl	2	2	0	
mrs 34.pl 35.pl	2	3	0	
mrs 37.pl 38.pl	3	3	0	
mrs 38.pl 39.pl	2	5	(0)	
mrs 57.pl 58.pl	3	4	0	
mrs 63.pl 64.pl	3	4	0	
mrs 67.pl 68.pl	3	4	(0)	
mrs 71.pl 72.pl	4	4	0	
mrs 73.pl 74.pl	4	4	1	{(qePa,bjeffe)}, {(mo-svla,ankomme)}
sofie 2.pl 0.pl	4	8	(2)	{(amundsen,Amundsen),(skola,skole)}
sofie 13.pl 10.pl	3	6	(0)	

Tabell 5.2: Overlapp mellom RIA og lfgalign, og mellom RIA og ein tilfeldige baseline. Det fulle testsettet har totalt 40343 lenkbare PRED-element på kjeldesida; dette søkk til 337 når alle setningspar med fleire yttarste PRED er fjerna.

metode	yttarst	snitt	union	lenkjer	RIA-lenkjer	snitt / denne	snitt / RIA
tilfeldig	0	43	526	307	262	14,01 %	16,41 %
lfgalign u/ordbok	0	142	386	272	262	52,21 %	**54,20 %**
lfgalign m/ordbok	0	51	302	91	262	56,04 %	19,47 %
tilfeldig	≤ 1	292	4151	2426	2017	12,04 %	14,48 %
lfgalign u/ordbok	≤ 1	1066	3029	2127	2017	50,12 %	52,85 %
lfgalign m/ordbok	≤ 1	409	2327	725	2017	**56,41 %**	20,28 %
tilfeldig	≤ 2	682	12153	7005	5830	9,74 %	11,70 %
lfgalign u/ordbok	≤ 2	2586	9028	5890	5830	43,90 %	44,36 %
lfgalign m/ordbok	≤ 2	985	6684	1856	5830	53,07 %	16,90 %
tilfeldig	≤ 3	1191	23789	13765	11215	8,65 %	10,62 %
lfgalign u/ordbok	≤ 3	4262	17700	10949	11215	38,93 %	38,00 %
lfgalign m/ordbok	≤ 3	1652	12796	3261	11215	50,66 %	14,73 %
tilfeldig	$\leq \infty$	2544	60544	35069	28019	7,25 %	9,08 %
lfgalign u/ordbok	$\leq \infty$	7296	44587	24161	28019	30,20 %	26,04 %
lfgalign m/ordbok	$\leq \infty$	3382	31970	7375	28019	45,86 %	12,07 %

Kapittel 6

Avslutning

Denne oppgåva har prøvd å svare på kva for fraselenkjer som er ønskelege i ein parallel trebank mynta på lingvistisk forsking, på ein slik måte at desse ønskene er formaliserbare, og implementerbare. Implementasjonsmetoden nyttar i hovudsak parallellismen i dei djupe, syntaktiske analysane for å finne lenkbare f-strukturar, og frå dei, lenkbare c-strukturnodar.

Automatisk frasesamanstilling direkte avleidd frå parallellismen i djupe syntaktiske analysar er, såvidt eg veit, ikkje prøvd utanfor Xpar-prosjektet. Som evalueringa viser kan både dei ideelle krava nyanserast (m.a. til å ta inn over seg fleire relasjonar mellom predikat enn argument/adjunkt) og implementeringa betrast (m.a. til å rangere i staden for å avskjere på LPT-informasjon). Men metoden synest lovande, sjølv om evalueringsmaterialet er litt for tynt for å komme med ein sterk konklusjon.

f-strukturlenkjene gir ein kvalitativt ulik informasjon frå det ein får med lenkjer mellom reine N-gram eller konstituentar. Men den endelege samanstillinga har i tillegg ei nær kopling til djupe lingvistiske analysar; dette gir oss høve til å samanlikne grammatiske trekk, konstituentar, syntaktiske funksjonar og *kva desse er lenkja til* på ein måte som er vanskeleg å sjå føre seg med mindre kunnskapsbaserte metodar.

Litteratur

Azzam, S., Humphreys, K. & Gaizauskas, R. (1998). Coreference Resolution in a Multilingual Information Extraction System. I *Proceedings of the Workshop on Linguistic Coreference* (s. 74–78). Granada: LREC. Tilgjengeleg frå http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.24.5639&rep=rep1&type=pdf

Bresnan, J. (2001). *Lexical-Functional Syntax*. Oxford, UK: Blackwell Publishers.

Brown, P.F., Della Pietra, S.A., Della Pietra, V.J. & Mercer, R.L. (1993). The mathematics of statistical machine translation: Parameter estimation. *Computational Linguistics*, *19*(2), 263–311. Tilgjengeleg frå http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.13.8919

Butt, M. (1998). Constraining Argument Merger Through Aspect. I E. Hinrichs, A. Kathol & T. Nakazawa (red.), *Complex Predicates in Nonderivational Syntax* (vol. 30, kap. 1). New York: Academic Press.

Butt, M., Dyvik, H., King, T.H., Masuichi, H. & Rohrer, C. (2002). The Parallel Grammar Project. I *COLING-GEE '02 Proceedings of the 2002 workshop on Grammar engineering and evaluation* (vol. 15, s. 1–7). Morristown, NJ: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1118783.1118786

Chen, S.F. (1993). Aligning Sentences in Bilingual Corpora using Lexical Information. I *Proceedings of the 31st annual conference of the association for computational linguistics* (s. 9–16). Columbus, Ohio: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://portal.acm.org/citation.cfm?id=981576&dl=

Cheung, L., Lai, T., Luk, R., Kwong, O., Sin, K., Tsou, B. et al. (2002). Some Considerations on Guidelines for Bilingual Alignment and Terminology Extraction. I *Proceedings of the first SIGHAN Workshop on Chinese Language Processing* (vol. 18, s. 1–5). Morristown, NJ: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://www.aclweb.org/anthology-new///W/W02/W02-1802.pdf

Dyvik, H., Meurer, P., Rosén, V. & De Smedt, K. (2009). Linguistically motivated parallel parsebanks. I M. Passarotti, A. Przepiórkowski, S. Raynaud & F.V. Eynde (red.), *Proceedings of the Eighth International Workshop on Treebanks and Linguistic Theories* (s. 71–82). Milano: EDUCatt. Tilgjengeleg frå http://tlt8.unicatt.it/allegati/Proceedings_TLT8.pdf#page=83

Graham, Y., Bryl, A. & Genabith, J. van. (2009). F-structure transfer-based statistical machine translation. I M. Butt & T.H. King (red.), *Proceedings of LFG09* (s. 317–337). Trinity College, Cambridge: CSLI Publications. Tilgjengeleg frå http://pargram.b.uib.no/references/2009s/

Graham, Y. & Genabith, J. van. (2009). An Open Source Rule Induction Tool for Transfer-Based SMT. *The Prague Bulletin of Mathematical Linguistics, Special Issue: Open Source Tools for Machine Translation*, *91*, 37–46. Tilgjengeleg frå http://doras.dcu.ie/15187/1/GrahamVanGenabith_marathon_09.pdf

Graham, Y. & Genabith, J. van. (2010). Deep Syntax Language Models and Statistical Machine Translation. I *Proceedings of the Fourth International Workshop on Syntax and Structure in Statistical Translation.* Beijing, China: The 23rd International Conference on Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://www.computing.dcu.ie/~ygraham/graham-vangenabith-10.pdf

Hearne, M., Ozdowska, S. & Tinsley, J. (2008). Comparing Constituency and Dependency Representations for SMT Phrase-Extraction. I *Actes de la 15e Conférence Annuelle sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN '08).* Avignon, France: ATALA. Tilgjengeleg frå http://www.computing.dcu.ie/~mhearne/publications.html

Kaplan, R.M., King, T.H. & III, J.T.M. (2002). Adapting Existing Grammars: the XLE Experience. I *COLING-GEE '02 Proceedings of the 2002 workshop on Grammar engineering and evaluation* (vol. 15, s. 1–7). Morristown, NJ: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://acl.ldc.upenn.edu/coling2002/workshops/data/w06/w06-06.pdf

Koehn, P. (2005). Europarl: A Parallel Corpus for Statistical Machine Translation. I *Conference Proceedings: the tenth Machine Translation Summit* (s. 79–86). Phuket, Thailand: AAMT. Tilgjengeleg frå http://mt-archive.info/MTS-2005-Koehn.pdf

Koehn, P., Och, F. & Marcu, D. (2003). Statistical phrase-based translation. I *NAACL '03: Proceedings of the 2003 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics on Human Language Technology* (s. 48–54). Morristown, NJ: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://www.mt-archive.info/HLT-NAACL-2003-Koehn.pdf

Kupiec, J. (1993). An algorithm for finding noun phrase correspondences in bilingual corpora. I *Proceedings of the 31st annual meeting on Association for Computational Linguistics* (s. 17–22). Morristown, NJ, USA: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://portal.acm.org/citation.cfm?id=981577&dl=GUIDE,

Manning, C.D. & Schütze, H. (1999). *Foundations of Statistical Natural Language Processing*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Meurer, P. (2008, March). *A Computational Grammar for Georgian.* Tilgjengeleg frå http://maximos.aksis.uib.no/~paul/articles/Tbilisi2007-LNAI.pdf

Munday, J. (2001). *Introducing Translation Studies: Theories and Applications*. London: Routledge.

Och, F.J. & Ney, H. (2003). A systematic comparison of various statistical alignment models. *Computational Linguistics*, *29*(1), 19-51. Tilgjengeleg frå http://www.mt-archive.info/CL-2003-Och.pdf

Pedersen, T. (2008). Empiricism Is Not a Matter of Faith. *Computational Linguistics*, *34*(3), 465–470. Tilgjengeleg frå http://www.d.umn.edu/~tpederse/Pubs/pedersen-last-word-2008.pdf

Piao, S. & McEnery, T. (2001). Multi-word Unit Alignment in English-Chinese Parallel Corpora. I P. Rayson, A. Wilson, T. McEnery, A. Hardie & S. Khoja (red.), *Proceedings of the Corpus Linguistics 2001 Conference* (s. 466–475). Lancaster, UK: UCREL. Tilgjengeleg frå http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.97.3193&rep=rep1&type=pdf

Prescher, D. (2004). A Tutorial on the Expectation-Maximization Algorithm Including Maximum-Likelihood Estimation and EM Training of Probabilistic Context-Free Grammars. *CoRR*, *abs/cs/0412015*, 49. Tilgjengeleg frå http://arxiv.org/abs/cs/0412015 (Presented at the 15th European Summer School in Logic, Language and Information (ESSLLI 2003))

Pullum, G. & Scholz, B. (2001). On the Distinction between Model-Theoretic and Generative-Enumerative Syntactic Frameworks. *Logical Aspects of Computational Linguistics: 4th International Conference, Lacl 2001, Le Croisic, France, June 27-29, 2001, Proceedings*. Tilgjengeleg frå http://portal.acm.org/citation.cfm?id=645668.665062

Riezler, S. & Maxwell, J. (2006). Grammatical Machine Translation. I M. Butt, M. Dalrymple & T.H. King (red.), *Intelligent Linguistic Architecture: Variations on themes by Ronald M. Kaplan* (s. 35–52). Stanford, CA: CSLI Publications. Tilgjengeleg frå http://www.parc.com/research/publications/details.php?id=5675

Rosén, V. & De Smedt, K. (2007). Theoretically Motivated Treebank Coverage. I J. Nivre, H.-J. Kaalep, K. Muischnek & M. Koit (red.), *Proceedings of the 16th Nordic Conference of Computational Linguistics NODALIDA-2007* (s. 152–159). Tartu: University of Tartu. Tilgjengeleg frå http://hdl.handle.net/10062/2566

Rosén, V., Meurer, P. & Smedt, K. de. (2009). LFG Parsebanker: A Toolkit for Building and Searching a Treebank as a Parsed Corpus. I F.V. Eynde, A. Frank, G. van Noord & K.D. Smedt (red.), *Proceedings of the 7th International Workshop on Treebanks and Linguistic Theories (TLT7)* (s. 127–133). Utrecht: LOT. Tilgjengeleg frå http://ling.uib.no/~desmedt/papers/tlt7rosen-submitted.pdf

Sag, I.A., Wasow, T. & Bender, E. (2003). *Syntactic Theory: A Formal Introduction* (2nd utg.). Stanford: Center for the Study of Language and Information. Tilgjengeleg frå http://csli-publications.stanford.edu/site/1575864002.html

Samuelsson, Y. & Volk, M. (2006). Phrase Alignment in Parallel Treebanks. I *Proceedings of Treebanks and Linguistic Theories (TLT '06)*. Prague: ÚFAL. Tilgjengeleg frå http://www.ling.su.se/staff/yvonne/pub/samuelsson_2006_align.pdf

Samuelsson, Y. & Volk, M. (2007). Automatic Phrase Alignment: Using Statistical N-Gram Alignment for Syntactic Phrase Alignment. I *Proceedings of Treebanks and Linguistic Theories (TLT '07)*. Bergen, Norway: NEALT. Tilgjengeleg frå http://tlt07.uib.no/papers/8.pdf

Stodden, V. (2009). Enabling reproducible research: Licensing for scientific innovation. *International Journal of Communications Law and Policy*(13). Tilgjengeleg frå http://www.ijclp.net/issue_13.html

Surdeanu, M., Harabagiu, S., Williams, J. & Aarseth, P. (2003). Using Predicate-Argument Structures for Information Extraction. I *Proceedings of the 41st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (vol. 1, s. 8–15). Sapporo, Japan: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://acl.ldc.upenn.edu/acl2003/main/pdfs/Surdeanu.pdf

Thunes, M. (2003). *Ekserpering av leksikalske oversettelsekorrespondanser fra parallelltekst.* Tilgjengeleg frå http://www.hf.uib.no/i/LiLi/SLF/ans/Dyvik/marthaex.pdf

Tiedemann, J. & Kotzé, G. (2009). A Discriminative Approach to Tree Alignment. I *Proceedings of the Workshop on Natural Language Processing Methods and Corpora in Translation, Lexicography, and Language Learning* (s. 33–39). Borovets, Bulgaria: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://acl.eldoc.ub.rug.nl/mirror/W/W09/W09-42.pdf#page=43

Tinsley, J., Hearne, M. & Way, A. (2007). Exploiting Parallel Treebanks to Improve Phrase-Based Statistical Machine Translation. I *Proceedings of Treebanks and Linguistic Theories (TLT '07).* Bergen, Norway: NEALT. Tilgjengeleg frå http://tlt07.uib.no/papers/12.pdf

Unhammer, K.B. (2009). *Do arguments and adjuncts ever align? LINGMET semester assignment.* Tilgjengeleg frå https://github.com/downloads/unhammer/lfgalign/argstr.pdf

Unhammer, K.B. (2010). *LFG-based Constituent and Function Alignment for Parallel Treebanking.* Tilgjengeleg frå http://github.com/unhammer/lfgalign/raw/master/article/lfgalign-art.pdf (accepted)

Volk, M., Marek, T. & Samuelsson, Y. (2008). Human judgements in parallel treebank alignment. I *Proceedings of the Workshop on Human Judgements in Computational Linguistics* (s. 51–57). Manchester: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://www.aclweb.org/anthology-new/W/W08/W08-1208.pdf

XPar. (2008). *XPAR: Language diversity and parallel grammars.* (Submitted to the Research Council of Norway.)

Zhechev, V. & Way, A. (2008). Automatic Generation of Parallel Treebanks. I *Proceedings of the 22nd International Conference on Computational Linguistics* (vol. 1, s. 1105–1112). Manchester: Association for Computational Linguistics. Tilgjengeleg frå http://www.nltg.brighton.ac.uk/home/Roger.Evans/private/coling2008/cdrom/PAPERS/pdf/PAPERS139.pdf

Tillegg A

Kode for å køyre `RIA`-evaluering

Her står koden for å køyre analysane frå tabell 5.2. Først må du hente ut Ding-ordboka og ekstrahere testsettet. Viss du har installert Ding-ordboka til `/usr/share/dict/de-en.txt` og har lasta ned og ekstrahert `RIA` til `/home/brukarnamn/ria_12_06_09`, kan du klargjere ordboka og testsettet med

```
$ ./prepare-ria.sh /usr/share/dict/de-en.txt /home/brukarnamn/ria_12_06_09
```

Eventuelt kan du opne fila `prepare-ria.sh` og køyre kvar kommando linje for linje.

For å køyre testane som gav tabell 5.2 kan du laste inn `lfgalign` i Lisp-tolken din og køyre følgjande kommandoar; kommandoane står her i same følgje som tabellradene:

```
(ev-ria (ria-analyses nil 0)   #'random-f-align #'random-rank nil)
(ev-ria (ria-analyses nil 0)   #'f-align        #'rank        nil)
(ev-ria (ria-analyses nil 0)   #'f-align        #'rank        (ding-LPT))

(ev-ria (ria-analyses nil 1)   #'random-f-align #'random-rank nil)
(ev-ria (ria-analyses nil 1)   #'f-align        #'rank        nil)
(ev-ria (ria-analyses nil 1)   #'f-align        #'rank        (ding-LPT))

(ev-ria (ria-analyses nil 2)   #'random-f-align #'random-rank nil)
(ev-ria (ria-analyses nil 2)   #'f-align        #'rank        nil)
(ev-ria (ria-analyses nil 2)   #'f-align        #'rank        (ding-LPT))

(ev-ria (ria-analyses nil 3)   #'random-f-align #'random-rank nil)
(ev-ria (ria-analyses nil 3)   #'f-align        #'rank        nil)
(ev-ria (ria-analyses nil 3)   #'f-align        #'rank        (ding-LPT))

(ev-ria (ria-analyses nil nil) #'random-f-align #'random-rank nil)
(ev-ria (ria-analyses nil nil) #'f-align        #'rank        nil)
(ev-ria (ria-analyses nil nil) #'f-align        #'rank        (ding-LPT))
```

Dette går litt raskare om ein lagrar `(ding-LPT)` og dei ulike resultata av `ria-analyses` i variablar i staden for å hente dei ut på nytt kvar gong. Om du har tenkt å køyre dei siste testane bør du au sørgje for at Lisp-en din prioriterer snøggleik over avlusingsinformasjon ved kompilering; i SBCL kan ein gjere det slik:

```
(declaim (optimize (speed 3) (safety 0) (debug 0)))
```

For kvart kall på `ev-ria` får du (etter nokre blinkenlights) ei oppsummering av samanlikninga, t.d.[1]

```
Intersections: 12
Unions: 70
links made by #<FUNCTION F-ALIGN>: 20
links in RIA: 62
Linkable source PRED's: 77
Link possibilities (linkable srcs * linkable trgs): 605
Unreferenced sources: 18
Unreferenced targets: 17
```

kor tala frå dei fire første linjene tilsvarer kolonnene *snitt, union, lenkjer, `RIA`-lenkjer*; `Linkable source PRED's` er kor mange PRED-element på kjeldesida som kunne vore lenkja, `Unreferenced sources/targets` er kor mange «yttarste PRED» me fann.

[1] Dette er frå kallet `(ev-ria (ria-analyses 100 1) #'f-align #'rank (ding-lpt))`; kor 100 og 1 vil seie «berre dei 100 første analysane, med maksimalt 1 yttarste PRED (utanom 0)».