علوم و مهندسی کامپیوتر
نشریه علمی پژوهشی انجمن کامپیوتر ایران
مجلد ۳، شماره ۱ (الف)، بهار ۱۳۸۴
صفحات ۲۳-۳۱
مقاله عادی

استفاده از گرامر اتصال- درخت برای ترجمه ماشینی انگلیسی به فارسی

هشام فیلی غلامرضا قاسم ثانی

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

چکیده

قدرت بالای مدلسازی جملات زبان طبیعی توسط گرامرهای اتصال-درختی سبب شد که از آنها در کاربردهای ترجمه ماشینی و پردازش معنایی استفاده شود. آزمایشات موفق استفاده از این مدل در ترجمه‌ی ماشینی کره‌ای- انگلیسی و انگلیسی-فرانسوی [۱،۲]، ما را برآن داشت که از این مدل جهت ترجمه ماشینی انگلیسی به فارسی استفاده کنیم. با هدف استفاده این نوع گرامر در ترجمه ماشینی، مفهوم گرامرهای اتصال-درختی همزمان نیز معرفی شده است. استفاده از این نوع گرامر سبب رفع ابهامات زیادی که در پردازش ترجمه ماشینی وجود دارد، شده است. در این مقاله نتایج تجربی ترجمه ماشینی انگلیسی به فارسی که در آزمایشگاه پردازش زبان طبیعی دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف صورت گرفته است، ارائه می-گردد.

کلمات کلیدی: ترجمه ماشینی، زبان فارسی، گرامر اتصال-درختی، گرامر لغوی

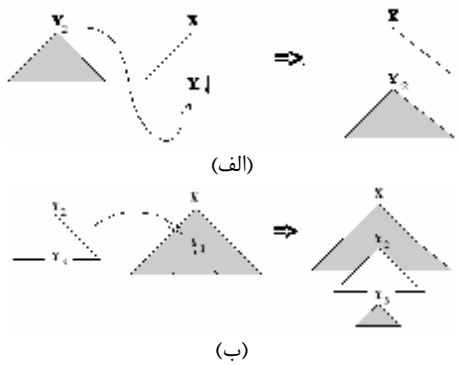
۱- مقدمه

ترجمه ماشینی به ترجمه‌ی خودکار یک متن از زبانی به زبان دیگر با استفاده از رایانه گفته می‌شود که از شاخه‌های مهم هوش مصنوعی به شمار می‌آید. این سیستم‌ها به سه دسته اصلی، *ترجمه ماشینی مستقیم*[۱]، *ترجمه ماشینی انتقالی*[۲] و *ترجمه ماشینی میان‌زبانی*[۳] تقسیم می‌شوند [۴، ۳]. سیستم‌های مجموعه‌ی اول از قدیمی‌ترین سیستمهای مترجم خودکار هستند که به دلیل عدم کارایی، اکنون کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین سیستم‌های مجموعه‌ی سوم با توجه به عدم توانایی تعریف یک میان‌زبان جامع نتایج قابل ملاحظه‌ای بدست نیاورده‌اند. در حال حاضر، مجموعه‌ی دوم از موفق‌ترین روشهای ترجمه ماشینی هستند که محصولات علمی و تجاری متعددی نیز در این زمینه تولید شده است[۳]. در این مقاله نتایج تجربی یک سیستم مترجم ماشینی مبتنی بر ترجمه ماشینی انتقالی ارائه می‌گردد. در این سیستم از مدل گرامری خاصی به نام گرامر اتصال-درختی[۴] (TAG) استفاده شده است.

۲- گرامر اتصال- درختی

گرامر اتصال-درختی به دلیل ویژگیهای خاص خود، جهت استفاده در کاربردهای ترجمه ماشینی و تفسیر معنایی جملات زبان طبیعی مناسب هستند[۵]. به این نوع از گرامرها که در طبقه‌بندی سلسله مراتبی چامسکی بین گرامرهای مستقل از متن و حساس به متن قرار می‌گیرد، گرامر حساس به متن ملایم[۵] گفته می-شود[۶]. در واقع این نوع از گرامرها را می‌توان نسخه گسترش‌یافته گرامر مستقل از متن در نظر گرفت که قواعد تولید آن، خود درخت‌هایی هستند که ساختار نحوی جملات را نشان می‌دهند. بطور کلی یک گرامر اتصال-درختی از یک ۵-تایی (V_N, V_T, S, I, A) تشکیل شده است که در آن V_N مجموعه‌ی متناهی از غیرپایانه‌ها، V_T مجموعه‌ی متناهی از پایانه‌ها، S علامت شروع گرامر، I مجموعه متناهی از درخت‌های بدوی[۶] و A مجموعه‌ی متناهی از درخت‌های کمکی[۷] است. اجتماع مجموعه‌های I و A، مجموعه‌ی قواعد گرامر را تشکیل می‌دهد که به آن درخت‌های اولیه[۸] گفته می‌شود. گره‌های درونی درخت‌های اولیه توسط غیرپایانه‌ها

برچسب‌گذاری می‌شود در حالیکه به غیر از یک گره برگ در درخت‌های کمکی، همه‌ی گره‌های برگ توسط پایانه‌ها برچسب‌گذاری می‌شوند. به گره برگ مذکور در درخت کمکی، گره پایه[۹] گفته می‌شود. در درخت‌های کمکی، برچسب ریشه و گره پایه بایستی یکسان باشد. از ترکیب درخت‌های اولیه با یکدیگر، درخت‌های نحوی جدیدی ایجاد می‌گردد که ساختار نحوی جملات را تشکیل می‌دهند. درخت‌های اولیه با استفاده از دو عمل جایگزینی[۱۰] و اتصال[۴] ترکیب می‌شوند. جایگزینی یک گره با برچسب A از درخت T، با درخت T' در صورتی ممکن است که برچسب ریشه درخت T' با برچسب گره مذکور برابر باشد. در آنصورت کل درخت T' جای گره قرار داده می‌شود. شکل۱ (الف) عمل جایگزینی را نشان می‌دهد [۷]. عمل اتصال بدینصورت است که اگر T درخت اولیه‌ای دارای گره‌ای با برچسب A و T' یک درخت کمکی دارای ریشه و گره‌پایه‌ای با همان برچسب A باشد، در اینصورت اتصال درخت T' داخل T بوسیله افزودن T' به T در گره A و اتصال زیردرخت گره A به گره‌ی پایه درخت T' انجام می‌شود. شکل۱ (ب) عمل اتصال مذکور را نشان می‌دهد [۷].



(الف)

(ب)

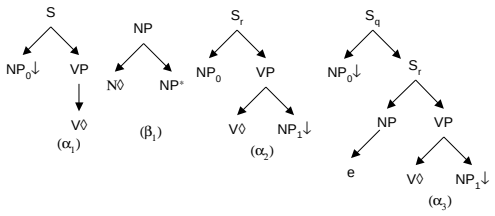
شکل۱- (الف) عمل جایگزینی در گرامر اتصال-درختی (این عمل در صورتی ممکن است که برچسب گره Y_1 با گره Y_2 برابر باشد).

(ب) عمل اتصال در گرامر اتصال-درختی (این عمل در صورتی ممکن است که برچسب گره‌های Y1، Y2 و Y3 با هم برابر باشند).

جهت افزایش دقت و قدرت پردازشی TAG مفهوم *لغوی* نیز به آن اضافه می‌گردد. بدین صورت که هر درخت اولیه حداقل دارای یگ گره است که مستقیما به یک واژه متصل است و به آن گره *لنگر* گفته می‌شود. به این مدل از گرامر، اتصال-درختی لغوی (LTAG) اطلاق می‌گردد.

با هدف استفاده از گرامر اتصال-درختی لغوی در ترجمه ماشینی جملات زبان طبیعی، مفهوم جدیدی به نام گرامر اتصال-درختی همزمان[۱۲] (S-TAG) ابداع شده است. اولین استفاده از S-TAG در ترجمه ماشینی به سال ۱۹۸۹ میلادی برمی‌گردد که در آن با استفاده از این مفهوم روشی جهت ترجمه اصطلاحات ارائه شد [۵]. پس از آن آزمایشات و تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده است که اغلب آنها بر اساس پروژه گرامر وسیع زبان انگلیسی که XTAG نام دارد، تعریف شده‌اند[۸]. S-TAG در واقع از دو گرامر TAG موازی، که متناظر با زبان‌های مبدا و مقصد هستند، تشکیل شده است. هر جمله‌ای که در زبان مبدا توسط گرامر TAG زبان مبدا تجزیه می‌شود، به ساختار معادل خود در زبان مقصد تبدیل می‌گردد [۹].

شکل-۲ مثالهایی از یک گرامر TAG برای زبان انگلیسی را نشان می‌دهد که درختهای استفاده شده، از پروژه XTAG استخراج شده‌اند. هر درخت اولیه جهت یک ساختار بخصوص نحوی مورد استفاده قرار می‌گیرد. درخت α_1 جهت بیان جملات لازم مورد استفاده قرار می‌گیرند که فقط شامل یک فاعل (NP_0) و یک فعل است. درخت β_1 جهت تعریف ساختار مضاف و مضاف الیه بکار می‌آید. درخت α_2 نیز جهت استفاده در جملات متعدی کاربرد دارد که علاوه بر فاعل NP_0 دارای مفعول NP_1 نیز است. درخت α_3 نیز جهت معرفی جملات سوالی که در آنها در مورد فاعل جمله، سوال می‌شود، کاربرد دارد.



شکل۲- نمونه‌هایی از درختهای اولیه مورد استفاده در گرامر زبان انگلیسی [۸]

سیستمهای مترجم ماشینی مختلفی برپایه مدل TAG ارائه شده‌اند که از نمونه-های آن می‌توان به سیستم مترجم ماشینی انگلیسی-فرانسه [۱] و انگلیسی-کره‌ای [۱۰] و انگلیسی-فارسی [۱۱،۱۲،۱۳] اشاره کرد. در هر یک از این سیستمها از مدل TAG به عنوان پایه انتقال بین دو زبان استفاده شده است، هر چند تغییرات بنیادی نیز در نوع استفاده از آنها وجود دارد.

۳- زبان فارسی

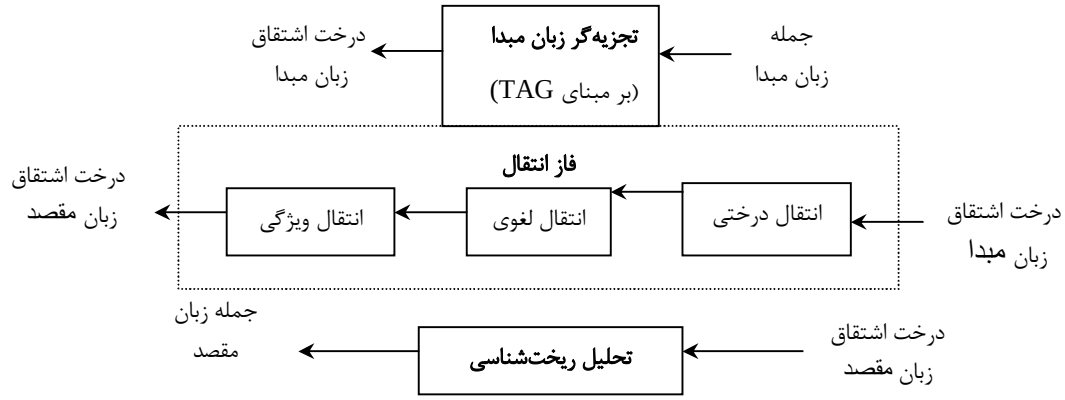
زبان فارسی زبان رسمی کشورهای ایران و تاجیکستان و یکی از دو زبان اصلی کشور افغانستان است. این زبان تحت تاثیر شدید زبان‌های مناطق مجاور مانند عربی (در ایران) و روسی (در تاجیکستان) قرار گرفته است. آنچه که به عنوان زبان فارسی در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است، زبان رسمی کشور ایران است. با وجود تاثیر شدید زبان عربی در این زبان، ساختار زبان تغییرات چندانی نداشته است و زبان عربی صرفا در فرهنگ لغات فارسی تاثیر داشته است [۱۴].

این زبان دارای ساختار "فاعل-مفعول-فعل" است که بسیاری از کلمات آن، امکان جابجایی و ترتیب‌های مختلف هستند[۱۳]. مثلا در یک جمله، قید می‌تواند در ابتدا، انتها یا وسط جمله ظاهر شود، بدون آنکه معنای جمله تغییر یابد. این خاصیت به افزایش دقت ترجمه (بخصوص در مرحله تولید جمله) کمک شایانی می‌کند[۱۵].

۴- ترجمه انگلیسی به فارسی

زبانهای فارسی و انگلیسی، هم از جنبه ساختاری و هم از جنبه لغوی تفاوت‌های زیادی دارند. علاوه بر آن تحلیل ریخت‌شناسی[۱۴] کلمات زبان فارسی تفاوت‌های عمده‌ای با زبان انگلیسی دارد. زبان فارسی دارای تعداد زیادی پسوند و تعداد کمی پیشوند است. این پسوندها و پیشوندها به ریشه کلمات وصل شده و شکل صحیح کلمه را ایجاد می‌کنند [۱۶]. S-TAG ابزار و مدل مناسبی جهت غلبه بر تفاوتهای موجود بین انگلیسی و فارسی است. ما برای زبان‌های انگلیسی-فارسی یک گرامر S-TAG ایجاد کرده‌ایم که مانند بیشتر کارهای موجود در این زمینه، گرامر زبان انگلیسی بر اساس پروژه XTAG بنا شده است [۱۷]. همچنین از مجموعه‌ای شامل ۸۶۰ جمله کوتاهتر از ۱۶ کلمه و ۲۱۳۶ کلمه انگلیسی را از بین مراجع و کتب مرتبط به علوم کامپیوتر برای آزمایش تجربی مترجم حاضر استفاده شده است.

همانطوریکه گفته شد، مترجم‌های ماشینی به سه دسته اصلی ترجمه مستقیم، *انتقالی* و *میان‌زبانی*[۱۵] تقسیم می‌شوند [۴]. در روش مستقیم، ترجمه با تبدیل کلمه-به-کلمه جمله مبدا و تبدیل ترتیب کلمات بدست می‌آید.



شکل۳- مراحل کامل ترجمه بر مبنای S-TAG

در حالیکه در ترجمه‌ی *انتقالی*، ابتدا جمله مبدا به ساختار بخصوصی (مانند ساختار نحوی یا معنایی) تبدیل شده و سپس به زبان مقصد تبدیل می‌گردد. در ترجمه‌ی میان‌زبانی نیز همه‌ی جملات به یک زبان استاندارد (میان زبان) تبدیل می‌شوند. معماری مورد استفاده در این مقاله، به روش انتقالی است که در آن ابتدا جمله ورودی به یک ساختار، شامل اطلاعات نحوی و معنایی موسوم به درخت *اشتقاق*[۱۶] تبدیل شده، سپس بر اساس آن به ساختار معادل خود در زبان مقصد منتقل می‌شود. درخت اشتقاق درختی است که سابقه ترکیب درخت‌های اولیه با یکدیگر که منجر به تجزیه جمله ورودی است، را نگهداری می‌کنند. با داشتن درخت اشتقاق و ساختار درختهای اولیه به سادگی (یعنی با هزینه خطی) می‌توان *درخت تجزیه*[۱۷] را ایجاد کرد [۱۷].

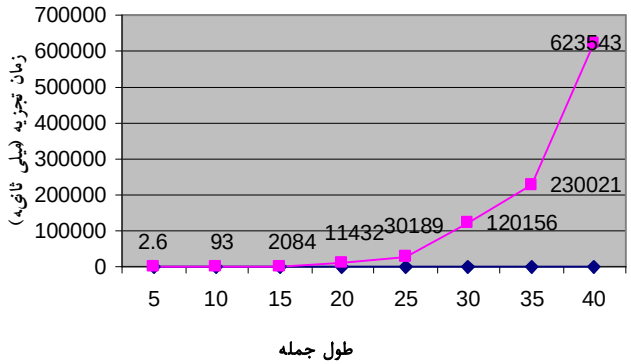
مراحل انتقال جملات بین زبان مبدا و مقصد به سه بخش انتقال درختی، انتقال *لغوی* و انتقال *ویژگی* تقسیم می‌شود. شکل۳ مراحل کامل ترجمه بر مبنای مدل مذکور را نشان می‌دهد. در بخش‌های بعدی در رابطه با هر قسمت توضیحاتی داده می‌شود.

۴-۱ مرحله‌ی تجزیه‌گر

اولین مرحله از ترجمه انتقالی، تجزیه جمله زبان مبدا است. در اینجا از مدل TAG به عنوان گرامر جملات ورودی استفاده شده است. الگوریتم‌هایی جهت تجزیه جملات براساس مدل TAG وجود دارد که در مترجم معرفی شده در این مقاله از الگوریتم ارائه شده توسط ون‌نورد[۱۸] استفاده شده است[۸]. این الگوریتم با هزینه $O(n^6)$ اجرا می‌شود که در آن n تعداد کلمات جمله ورودی است. الگوریتم مذکور یک نوع الگوریتم تجزیه‌گر مبتنی بر نمودار[۱۹] است که در آن از ایده‌های برنامه‌نویسی پویا[۲۰] و نگهداری نتایج میانی تجزیه جملات استفاده می‌شود. حاصل تجزیه‌گر مذکور درخت *اشتقاق* جمله است.

در این مرحله دو مشکل وجود دارد. مشکل اول سرعت تجزیه آن است. همانطوریکه گفته شد این الگوریتم با هزینه $O(n^6)$ یک نمودار را پیمایش کرده و تجزیه‌های مختلف آن را تولید می‌کند. در این هزینه تعداد درختهای گرامر TAG به صورت عدد ثابت وارد می‌شود. برای گرامر پروژه XTAG که دارای ۱۲۲۷ درخت بدوی و کمکی است، زمان تجزیه آن نسبت به طول جمله در شکل۴ رسم شده است. علاوه بر طول جمله، ترتیب انتخاب درختهای گرامر جهت پرکردن عناصر نمودار نیز در سرعت آن موثر است. برای محاسبه زمان تجزیه، ۱۰۰۰ جمله با طول کمتر از ۱۶ کلمه، ۱۰۰۰ جمله با طول بین ۱۶ و ۲۵ کلمه و ۱۰۰۰ جمله با طول بین ۲۶ و ۴۰ کلمه انتخاب شدند و با استفاده از تجزیه‌گر مربوط به گرامر XTAG تجزیه شدند.

مشکل دوم عمل تجزیه، ابهامات متعددی است که در زبانهای طبیعی وجود دارد و سبب می‌شود که یک جمله به چندین روش مختلف تجزیه شود. نمودار زیر تعداد متوسط تجزیه‌های هر جمله را نسبت به طول آن جمله نشان می‌دهد. نکته مهم آن است که برای جملات با طول بیشتر، تعداد تجزیه‌های بیشتری تولید می‌شود. شکل۵ نمودار تغییرات تعداد تجزیه‌های مختلف نسبت به طول جملات را نشان می‌دهد.



شکل۴- نمودار زمان تجزیه جملات بر حسب طول جمله

در اینجا برای رفع مشکلات مذکور (سرعت کم و ابهامات زیاد) از یک الگوریتم پالایش استفاده شده است که در واقع قبل از ورود به الگوریتم تجزیه‌گر، تعداد درخت‌های اولیه مورد بررسی را تا جای ممکن کاهش می‌دهد. در این سیستم از یک الگوریتم برچسب‌گذاری اجزای کلام[۲۱] برای زبان انگلیسی به نام MXPOST استفاده شده است [۱۸]. اجزای کلام کلمات هر جمله قبل از ورود به مرحله‌ی تجزیه، توسط این الگوریتم تشخیص داده می‌شود. سپس بر اساس اجزای کلام بدست آمده، فقط درخت‌هایی از TAG برای استفاده در مرحله‌ی تجزیه انتخاب می‌شوند که دارای برچسب کلام یکسان باشند. بدین صورت تعداد زیادی از درخت‌ها هرس شده، سرعت تجزیه بالا می‌رود. همچنین تعداد ابهامات نیز کاهش می‌یابد. در آزمایشات انجام شده، استفاده از پالایشگر برچسب‌گذار کلام بطور متوسط سبب حذف بیش از ۳۰ درصد درختهای مورد بررسی در عمل تجزیه شد.

۴-۲ مرحله‌ی انتقال

در این مرحله که خود به سه زیر مرحله‌ی اصلی تقسیم می‌شود، یک درخت اشتقاق زبان مبدا (انگلیسی) به عنوان ورودی به درخت اشتقاق متناظر خود در

زبان مقصد (فارسی) به عنوان خروجی تبدیل می‌شود که در واقع هسته اصلی ترجمه را شامل می‌شود.

شکل۵- نمودار تغییرات تعداد تجزیه‌ها نسبت به طول جمله

۴-۲-۱ بخش انتقال درختی

ایده اصلی انتقال درختی، استفاده از تناظر بین TAG زبان مبدا با TAG زبان مقصد است. همانطوریکه گفته شد، S-TAG از دو گرامر TAG تشکیل شده است که یکی برای زبان مبدا و یکی برای زبان مقصد می‌باشد. این دو گرامر با یکدیگر در ارتباط هستند. بدینصورت که یک درخت اولیه در گرامر TAG مبدا، با یک (یا چند) درخت اولیه از گرامر TAG مقصد متناظر است. با استفاده از این تناظر، یک ساختار نحوی در زبان مبدا به ساختار معادل خود در زبان مقصد تبدیل می‌شود. این عمل گاهی با ابهاماتی همراه است. بطور مثال درخت اولیه شکل-۶ (الف)، که جملات *انگلیسی دارای متمم جمله‌ای* را مدل می‌کند، بر اساس نوع فعل اصلی جمله داخلی، به دو حالت مختلف تبدیل می‌گردد. جملات ۱ و ۲ هر دو توسط این درخت تجزیه می‌شوند.

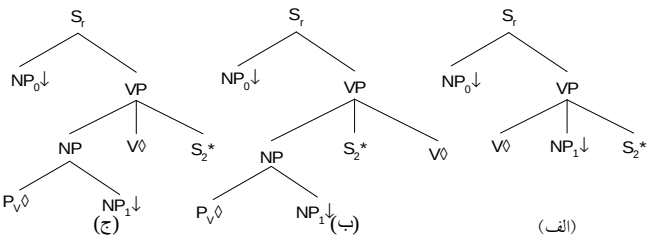
(1) *Srini begged Mark to increase his disk quota*

Srini از Mark برای افزایش ظرفیت دیسک-اش درخواست کرد.

(2) *Beth told Jim that it was his turn*

Beth به Jim گفت که آن نوبت-اش بود.

فعل اصلی جمله متمم شماره ۱ (یعنی جمله "*increase his disk quota*") بصورت مصدری است در حالیکه در جمله متمم شماره ۲ (یعنی جمله "*it was his turn*") بصورت اخباری است. شکل۶ (ب) و شکل۶ (ج) درخت‌های اولیه متناظر در گرامر فارسی را نشان می‌دهد. بر اساس نوع فعل موجود در جمله‌ی داخلی، یکی از این درخت‌ها انتخاب می‌شوند. در زبان فارسی، در حالتی که فعل بصورت مصدری باشد، ترجمه جمله متمم قبل از ترجمه فعل اصلی ظاهر می‌شود، ولی در حالت دوم ترجمه جمله متمم بعد از ترجمه فعل اصلی است.



شکل ۶- (الف) درخت اولیه انگلیسی جهت نمایش جملات به همراه متمم جمله-ای (ب) درخت اولیه متناظر در زبان فارسی در حالتیکه فعل جمله S_2^* بصورت مصدری باشد (ج) درخت اولیه متناظر در زبان فارسی در حالتیکه فعل جمله S_2^* بصورت اخباری باشد

این مثال نشان می‌دهد که تناظر بین درخت‌های TAG اولیه انگلیسی و فارسی می‌تواند بصورت یک به چند باشد، که با تعریف تعدادی شرایط نحوی می‌توان درخت صحیح را انتخاب کرد. علاوه بر آن این تناظر می‌تواند بصورت چند به یک نیز باشد (هر چند که در مثال‌های مورد استفاده چنین موردی مشاهده نشده است).

علاوه بر آن، بین درخت‌هایی که با یکدیگر تناظر دارند، در سطح گره‌ها نیز تناظر وجود دارد. در واقع گره‌های درونی و برگهای بین درخت‌های اولیه گرامر زبان مبدا و مقصد می‌توانند با یکدیگر تناظر چند به چند داشته باشند. تناظر بین گره‌های درخت‌های TAG اولیه انگلیسی و فارسی در دو قسمت مختلف کاربرد دارند:

- تناظر گره‌های لنگر بین درخت‌های اولیه، جهت انتقال لغوی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در آن کلمات و عبارت جمله زبان مبدا به زبان مقصد تبدیل می‌گردند.
- تناظر بین گره‌های دیگر درخت‌های اولیه، هنگام ترکیب درخت‌ها با یکدیگر (عملیات جایگزینی و اتصال) مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر عملی که روی یک گره از درخت اولیه در زبان مبدا صورت می‌گیرد، برای گره‌ی متناظر آن در زبان مقصد انجام می‌گیرد.

درخت‌های اولیه مورد استفاده موجود در گرامر XTAG برابر با ۱۲۲۷ درخت است که از این تعداد ۱۵۰ درخت به عنوان درختهای پرکاربرد انتخاب شدند. معمولا به ازای هر درخت اولیه انگلیسی بیش از یک درخت اولیه فارسی در گرامر S-TAG تعریف می‌گردد. بطوریکه برای تعداد درخت مذکور بیش از ۳۲۸ درخت اولیه فارسی تولید شدند. به منظور انتخاب یک درخت فارسی از روی درخت انگلیسی، به دلیل آنکه ممکن است بیش از یک درخت به عنوان کاندید انتخاب مطرح باشد، موارد دیگری مانند کلمات موجود در لنگر درخت، ویژگیهای خاص هر کلمه در درخت نیز می‌تواند به عنوان معیارهای انتخاب درخت درست فارسی تعیین گردد.

۴-۲-۲ بخش انتقال لغوی

با انتقال درخت اشتقاق، درخت تجزیه جمله برای زبان مقصد بدست می‌آید، یعنی در واقع ساختار نحوی جمله زبان مقصد حاصل می‌آید. حال باید کلمات متصل به برگ‌های درخت تجزیه (که در واقع جمله ورودی را تشکیل می‌دهند) به زبان مقصد تبدیل شود. این مرحله انتقال لغوی نامیده می‌شود. این بخش خود دارای ابهامات زیادی است که استفاده از S-TAG باعث رفع بسیاری از آنها می‌شود.

جهت رفع ابهام در انتقال لغوی، تعدادی معیار انتخاب شده است که اغلب آنها معیارهای نحوی هستند، هر چند که جنبه‌های معنایی نیز دربردارند. بر اساس این معیارها شرایطی تعریف می‌گردد که بتوان در مورد انتقال لغوی تصمیم‌گیری کرد. در هنگام انتقال لغوی با بررسی صحت شرط‌هایی که براساس این معیارها تعریف شده‌اند، انتقال صحیح انتخاب می‌گردد. معیارهای مورد استفاده عبارتند از:

۱- جزء کلام[۲۲] کلمات لنگر

۲- نوع درخت‌های اولیه موجود در درخت اشتقاق

۳- شرایط روی ویژگیهای کلمه (مانند زمان-صرف، نوع، ...)

۴- شرایط روی درخت اشتقاق (مانند نوع گره‌های موجود در درخت، ...)

همانطوریکه گفته شد، این معیارها شرایط نحوی و معنایی را فراهم می‌آورند که جهت رفع ابهام عمل انتقال لغوی استفاده می‌گردد. بطور مثال، جزء کلام یک معیار بسیار مهم و نحوی است که می‌تواند در رفع بسیاری از ابهامات کاربرد داشته باشد. مثلا، کلمه "*can*" می‌تواند بیانگر مفهوم "*قوطی*"، یا بیانگر فعل کمکی "*توانستن*"، یا فعل "*در قوطی کردن*" باشد، که با داشتن جزء کلام این کلمه می-توان معنای دقیق آنرا تشخیص داد.

به عنوان یک مثال دیگر می‌توان به ترجمه افعال عبارتی[۲۳] اشاره کرد که با استفاده از مفهوم S-TAG و اعمال شرط روی نوع درخت اولیه ترجمه دقیق آنرا بدست آورد. مثلا فعل عبارتی "*look up*" هم به معنای فعل "*یافتن کلماتی* در فرهنگ *لغات*" است و هم می‌تواند به معنای فعل "دیدن" به همراه حرف اضافه "*up*" باشد. نکته مهم آن است که در S-TAG تعدادی از درخت‌های اولیه صرفا جهت پردازش افعال عبارتی تعریف شده‌اند که با توجه به آن درخت‌ها، ترجمه دقیق عبارت مذکور بدست می‌آید.

۳-۲-۴ انتقال ویژگی

پس از انجام اعمال انتقال درختی و لغوی، نوبت زیرمرحله‌ی انتقال ویژگی‌ها است که در آن تعدادی ویژگی از کلمات زبان مبدا به زبان مقصد منتقل می‌شوند. این ویژگی‌ها در مراحل بعدی جهت تولید شکل دقیق کلمات بکار می‌آیند. با توجه به تفاوت‌های عمده زبان انگلیسی و فارسی، این مرحله که در واقع یک نوع تناظر بین ویژگیهای کلمات دو زبان است، دارای ابهاماتی است. ویژگی‌های کلمات خود به دو قسمت ویژگیهای ساختاری و ویژگی‌های ریخت‌شناسی تقسیم می‌شوند.

ویژگیهای ساختاری، ویژگیهایی هستند که به ساختار خاصی از جملات زبان فارسی مربوط است. به عنوان مثال حالت افعال[۲۴] در زبان فارسی حالت‌های مختلفی هستند که با انگلیسی تفاوت بنیادی دارند. بنابراین باید روشهایی جهت انتقال حالت انگلیسی به فارسی تهیه کرد. بخشی از این روشها در مرجع [۱۹] ذکر شده است. به عنوان یک مثال دیگر می‌توان به معلوم یا مجهول بودن جملات اشاره کرد. برخی از افعال به نام افعال برگشتی[۲۵] وجود دارند که فاعل آنها، خود در واقع مفعول جمله نیز هستند. مانند فعل "ذوب شدن" ***(melt)*** که در جمله‌ای مانند "***The ice melted***"، فاعل "***the ice***" مفعول جمله نیز است و بنابراین بایستی این جمله بصورت مجهول، (یعنی بصورت "یخ ذوب شد") ترجمه شود.

ویژگیهای ریخت‌شناسی به ویژگیهایی گفته می‌شود که سبب تغییر ساختار ظاهری کلمه می‌شود. ویژگیهای مذکور در مرجع [۲۰] ذکر شده‌اند. برای بدست آوردن مقادیر این ویژگیها، از تعدادی قانون ابتکاری[۲۶] استفاده شده است. برخی از ویژگیهای موجود در پروژه‌ی حاضر عبارتند از:

مقایسه[۲۷]: این ویژگی جهت تشخیص صفات تفضیلی بکار می‌آید. وجود چنین ویژگی باعث ساخت صفت تفضیلی یا عالی از روی یک صفت ساده می‌شود. مقادیر این ویژگی از روی کلمات انگلیسی قابل تشخیص است.

جمع بودن[۲۸]: این ویژگی جهت تشخیص جمع بودن اسامی و افزودن پسوندهای جمع بکار می‌رود.

نکره بودن[۲۹]: جهت تشخیص نکره بودن یک اسم کاربرد دارد. در ساختار زبان فارسی، اسامی نکره دارای پسوند "ی" نکره هستند. با توجه به ساختارهایی مانند "***a man***" در زبان انگلیسی امکان تشخیص نکره بودن یک کلمه وجود دارد.

ی ربط[۳۰]: این ویژگی به معنای افزودن (ی یا ای) به انتهای کلماتی که به عبارت وصلی متصل می‌شوند، است. مانند "ای" در جمله "*خانه‌ای که من در رابطه با آن صحبت کردم ....* "، این ویژگی با توجه به وجود درخت‌های اولیه مربوط به عبارت-های وصلی بدست می‌آید.

۳-۴ تحلیل ریخت‌شناسی

با تکمیل عملیات *مرحله‌ی انتقال*، جمله زبان مقصد تولید می‌شود که در آن کلمات بصورت مصدری قرار دارند. این مرحله جهت اعمال قوانین ریخت‌شناسی و تولید شکل صحیح کلمات بکار می‌آید. توجه داشته باشید که دامنه‌ی فعالیت و تاثیر این مرحله صرفا در اندازه یک کلمه است. یعنی تحلیل ریخت‌شناسی فقط قادر به تغییر شکل ظاهری در محدوده‌ی یک کلمه خواهد شد. قوانین دقیق تحلیل ریخت‌شناسی در مرجع [۱۹] ذکر شده است که در این پروژه بطور کامل پیاده‌سازی شده است.

۵- چند نمونه از عملکرد سیستم ترجمه

در این بخش مثالهایی در مورد ترجمه یک جمله از زبان انگلیسی به فارسی ارائه شده و ابهامات و مشکلات موجود و روش‌های برخورد با آنها ارائه می‌شود.

به عنوان اولین نمونه، جمله شماره ۳ را در نظر بگیرید:

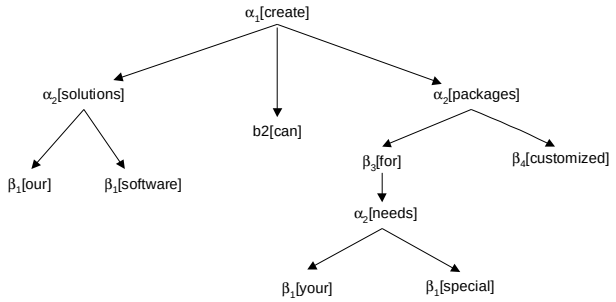
(3) Our software solutions can create customized packages for your special needs

راه‌حل-های نرم‌افزار-ی ما می-توان-د بسته-ها-ی ویژه را برای نیاز-ها-ی خاص شما تولید ب-کن-د

در این مثال ساختارهای افعال کمکی، صفت موصوف، مضاف مضاف الیه، ضمایر ملکی، صفتهای افعالی و عبارتهای اضافه وجود دارد که در واقع از مشکلات ترجمه ماشینی به شمار می‌آیند.

با اعمال الگوریتم تجزیه‌گر مبتنی بر TAG برای جمله انگلیسی فوق، درخت اشتقاق شکل۷ تولید می‌گردد. هر گره در این درخت، نام درخت اولیه مورد استفاده به همراه کلمه‌ای را که به عنوان لنگر آن درخت در نظر گرفته شده است، نشان می‌دهد. همانطوریکه گفته شد، این درخت سابقه عملیاتی را که بایستی انجام شود تا درخت تجزیه تولید گردد، نگهداری می‌کند.

فهرست درخت‌های اولیه مورد استفاده در درخت اشتقاق به همراه درخت اولیه فارسی متناظر درشکل ۸ نمایش داده شده است. درخت‌های بدوی با α و درخت-های کمکی با β مشخص شده‌اند. همچنین برای هر درخت اولیه انگلیسی نام درخت اولیه فارسی آن با افزودن حرف F به ابتدای نام آن، بدست می‌آید. جهت سادگی، کلمات در درخت‌های اولیه فارسی نیز مانند انگلیسی از چپ به راست نمایش داده شده‌اند.



شکل۷- درخت اشتقاق جمله شماره ۳

در این مثال درخت اشتقاق جمله فارسی نیز دقیقا مانند جمله انگلیسی خواهد شد با این تفاوت که به جای اسم هر درخت اولیه، اسم درخت اولیه فارسی متناظر قرار داده می‌شود. همچنین به جای کلمات لنگر موجود در هر گره، کلمه فارسی حاصل از انتقال لغوی قرار داده می‌شود.

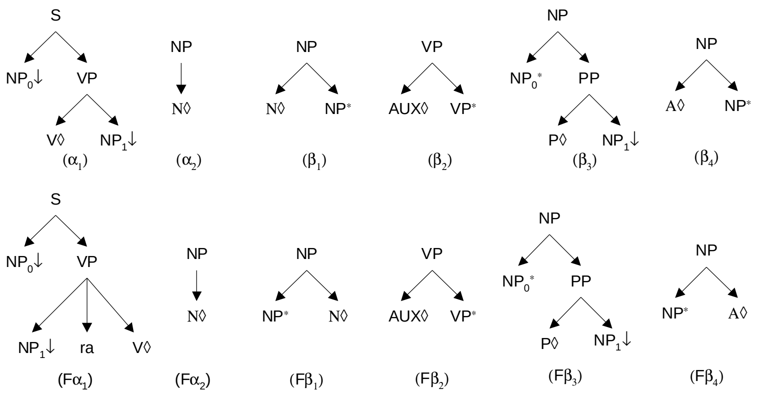
مثال شماره ۴، یک جمله سوالی است که با استفاده از افعال کمکی سوالی شده است. همچنین از فعل آینده استفاده می‌شود. استفاده از عبارتهای اضافه نیز در این مثال لحاظ شده است.

علاوه بر آن استفاده از علائم نشانه‌گذاری[۳۱] (علامت سوال) نیز در این مثال استفاده شده است.

(4) Will you go there for dinner ?

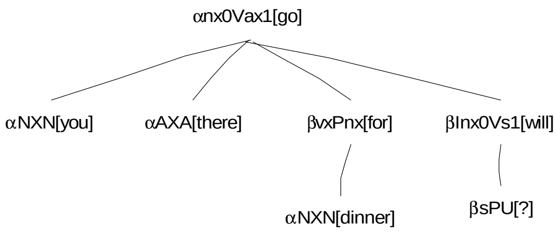
تجزیه این جمله توسط تجزیه‌گر مذکور، سبب ایجاد درخت اشتقاق شکل ۹ خواهد کرد. این درخت سوابق ترکیب درختهای اولیه به منظور تولید درخت تجزیه را نشان می‌دهد. روش نام‌گذاری درختها در این مثال طبق روش ارائه شده توسط مرجع[۱۷] است.

درختهای اولیه مورد استفاده در این مثال به همراه درختهای فارسی متناظر آن در شکل۱۰ ذکـر شده است. مانند شکل ۸، هـــر درخت فارسی متناظر در زیرِ درخت



شکل۸- درخت‌های اولیه انگلیسی و فارسی متناظر آن مورد استفاده در شکل۷

انگلیسی آن رسم شده است. پس از انتقال درختی، لغوی درخت اشتقاق مذکور، ترجمه فارسی آن به همراه ساختار نحوی جمله فارسی در شکل۱۱ نشان داده شده است. جمله‌ای که تا این مرحله تولید شده است، فاقد ریخت دقیق کلمات است و بایستی توسط مرحله انتقال ویژگی و عملیات ریخت‌شناسی پردازش شود.



شکل۹- درخت اشتقاق جمله شماره ۴

با توجه به انتقال لغوی کلمات موجود در درخت شکل-۹ که در جدول-۱ ذکر شده است، جمله حاصل بصورت زیر خواهد بود. این جمله از خواندن کلمات منتقل شده در برگهای درخت تجزیه از چپ به راست، بدست می‌آید.

"خواستن – شما – برای – شام – آنجا – رفتن ؟"

جدول۱- جدول انتقال لغوی کلمات جمله شماره ۴

will	خواستن	For	برای	Go	رفتن
you	شما	Dinner	شام	There	آنجا

با توجه به پروسه انتقال ویژگی و عملیات ریخت شناسی که در این جمله فقط برای افعال *خواستن* و *رفتن* اعمال می‌گردد، جمله بصورت *"می‌خواهید شما برای شام آنجا بروید ؟ "* تبدیل خواهد شد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله نمونه‌ای از یک سیستم مترجم ماشینی انگلیسی به فارسی مبتنی بر S-TAG ارائه شد. با وجود آنکه در این نمونه ترجمه از انگلیسی به فارسی پیاده-سازی شده است، ولی با توجه به ویژگیهای مدل مذکور، امکان بکارگیری آن در جهت عکس نیز وجود دارد. در روش عکس ایجاد یک گرامر تحلیلی برای زبان فارسی (مانند آنچه به عنوان XTAG در زبان انگلیسی تعریف شده است)، ضروری است. مشکل اصلی در طراحی گرامر محاسباتی زبان فارسی نسبت به زبان انگلیسی، قدرت بسیار بالای قواعد ریخت‌شناسی زبان فارسی است که بایستی بطور کامل و دقیق در هنگام تحلیل نحوی مورد بررسی قرارگیرد [۲۱].

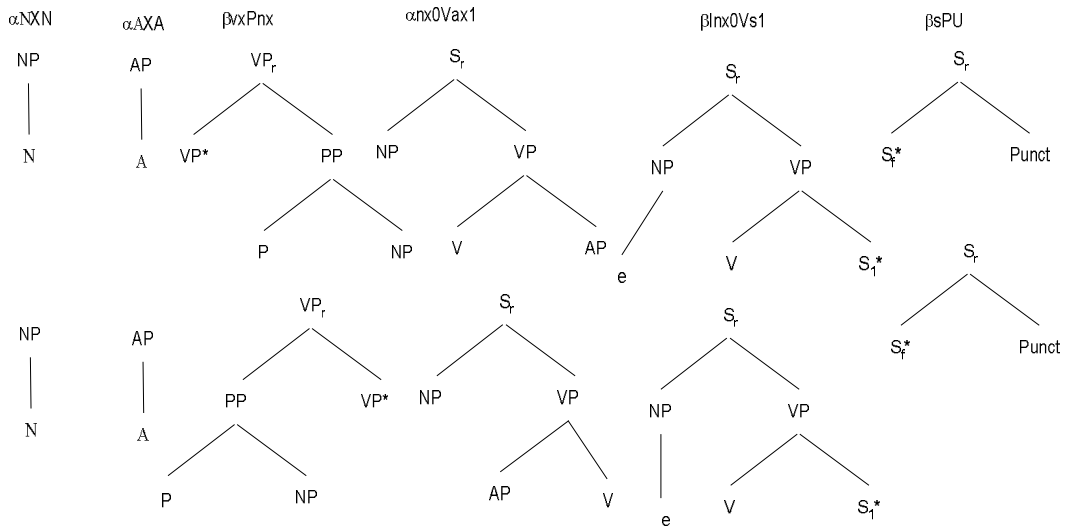
با توجه به آنکه تاکنون روش خودکار ارزیابی سیستمهای مترجم ماشینی که مستقل از زبان و کاربر خاص باشد، بوجود نیامده است [۳، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵]، امکان ارائه دقت این سیستم بر اساس معیارهای استاندارد وجود ندارد. ولی برای بررسی این سیستم، ویژگیهای گرامری زبان انگلیسی جمع آوری شده و براساس آنها جملات متعددی ساخته شد. هدف آن است که در هر مرحله، نحوه عملکرد سیستم مترجم در برابر این داده‌ها بررسی شوند. برای این منظور ۸۶۰ جمله انگلیسی که طول آن کمتر از ۱۶ کلمه است، انتخاب گردید. این جملات از بین کتابهای مرتبط با علوم رایانه انتخاب شده است و عملا در دامنه علوم کامپیوتری قراردارند. در این نمونه جملات، تقریبا همه‌ی جنبه‌های ساختارهای نحوی جملات، مانند (معلوم-مجهول)، (اخباری-امری-التزامی) و اشخاص و زمان‌های مختلف در نظر قرار گرفته شد.

با این وجود معیار نیمه خودکاری وجود دارد که توسط [۲۶] معرفی شده است که در آن از تعدادی مراجع و ترجمه های انسانی استفاده شده است.

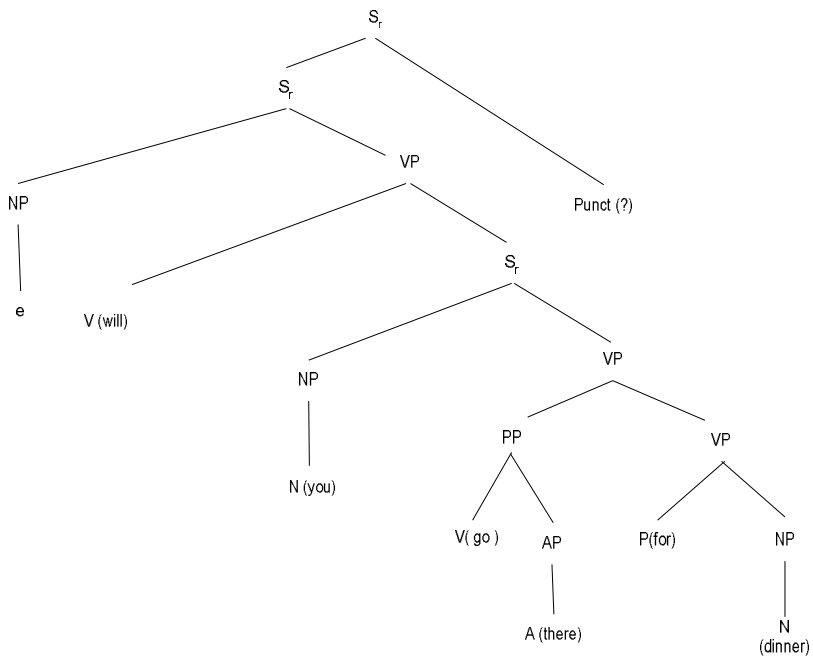
در این معیار کهBLEU [۳۲] نام دارد، تعدادی جملات مرجع بصورت موازی برای زبانهای مبدا و مقصد (در اینجا انگلیسی-فارسی) وجود دارد که در حالت ایده‌آل هر جمله انگلیسی توسط چندین مترجم انسانی متخصص به چندین شکل مختلف ترجمه شده‌اند. هدف آن است که خروجی سیستم مترجم ماشینی با این مراجع مقایسه شود. این مقایسه از جستجوی عبارتها و زیر رشته‌های مشابه بدست می-آید. بدینصورت که تمام رشته‌های یک کلمه‌ای، دو کلمه‌ای، سه کلمه‌ای و ... از بین خروجی سیستم مترجم ماشینی و مراجع مذکور که بطور یکسان ظاهر شده باشند، محاسبه می‌شوند.

معیار BLEU معیاری است که میزان نزدیکی خروجی سیستم مترجم ماشینی به سیستم مراجع را نشان می‌دهد. همچنین برای هر مرجع (ترجمه انگلیسی-فارسی) نیز یک عدد به عنوان حداکثر میزان شباهت مطرح می‌شود. هر چه عددی که توسط خروجی سیستم مترجم ماشینی بدست آمده است به عدد میزان شباهت مدنظر نزدیکتر باشد، کیفیت خروجی بهتر خواهد بود. بدلیل عدم دسترسی به چنین مراجعی، جملات انگلیسی عملا فقط دارای یک مرجع فارسی هستند و خروجی سیستم مترجم ماشینی بدست آمده فقط با این مرجع بررسی شده است.

در آزمایش جملات انگلیسی مذکور (۸۶۰ جمله) با استفاده از یک مرجع فارسی، معیار BLEU برای تنها مرجع موجود عدد ۱۱/۱۳ بدست آمده است در حالیکه خروجی مترجم ماشینی مذکور دارای معیار BLEU روی همان مرجع برابر با ۴/۳۶ است.



شکل۱۰- درخت‌های اولیه انگلیسی و فارسی متناظر آن مورد استفاده در شکل ۹



شکل ۱۱- درخت تجزیه جمله شماره ۴

این میزان اختلاف بین این دو عدد به دو دلیل اصلی می‌باشد:

۱- تعداد کم مراجع انسانی

۲- کیفیت انتقال لغوی در سیستم مترجم ماشینی

هر چه مراجع انسانی بیشتر باشند، احتمال آنکه یک رشته (یا زیررشته) از خروجی مترجم ماشینی در مراجع یافت شود، بیشتر شده و عملا معیار BLEU بیشتر خواهد شد. بنابراین بخشی از این اختلاف ناشی از عدم وجود مراجع به تعداد کافی و در نتیجه عدم کامل بودن ارزیابی است. مشکل دوم در انتقال لغوی طبق مدل S-TAG است. این انتقال صرفا بر مبنای اطلاعات نحوی مدل است و عملا بسیاری از مشکلات موجود در این مدل با در نظر گرفتن جنبه‌های معنایی رفع خواهد شد.

با استفاده از تجزیه‌گر و گرامر موجود در پروژه XTAG، مشخص شد که از ۱۲۲۶ درخت اولیه موجود در پروژه XTAG، فقط ۱۵۰ درخت اولیه مورد استفاده قرار گرفته شده است. با تعریف TAG برای زبان فارسی و ارتباط با ۱۵۰ درخت اولیه انگلیسی یک S-TAG تولید شد. این جملات سپس به رویه‌های انتقال درختی، لغوی و ویژگی داده شده و در پایان با استفاده از عملیات ریخت‌شناسی فرم نهایی جملات ساخته شد.

با توجه به قدرت S-TAG در مدلسازی وابستگیهای دور (مانند وابستگی فاعل-فعل)، توانایی این گرامر در بیان جملات زبان بسیار بیشتر از گرامرهای مستقل از متن است و عملا بسیاری از مشکلات سیستمهای دیگر که بر مبنای گرامرهای مستقل از متن بنا شده اند و ناشی از عدم مدلسازی مناسب جملات زبان است، را رفع کرده است[۱، ۵].

هر چند که S-TAG را می‌توان یک روش کارا جهت مدلسازی ساختاری و معنایی در نظر گرفت، با این حال به دلیل آنکه میزان استفاده از اطلاعات معنایی و مفهومی در این مدل کامل نیست، گاهی رفع ابهامات لغوی مقدور نیست. مثلا

هنوز روشی جهت شناخت دقیق ترجمه کلمه "***bridge***" در جمله "***my bridge was broken***" با استفاده از مدل S-TAG وجود ندارد (کلمه ***bridge*** هم به معنای *پل* و هم به معنای *برآمدگی بینی* است).

مراجع

[1] A. Abeille and Y.ves Scabes, *"*Using Lexicalized Tree Adjoining Grammars for Machine Translation,*" the Proceedings of 13th international conference on computational linguistics (COLLING 90)*, 1990.

[2] M. Dras and C. Han, *"*Korean-English MT and S-TAG, *" Proceedings of the 6th International workshop on Tree adjoining grammars and Related formalisms*, TAG+6, 2002.

[3] D. J. Arnold, "Machine Translation, an Introductory Guide," *Cochester*, 1993.

[4] M. Dras and Tonia Bleam, *"*How problematic are Clitics for S-TAG Translation?,*"proceedings of the 5th international workshop on Tree adjoining grammars and related formalisms (TAG+5)*, pp. 241-244, Paris, France, 2000.

[5] A. Abeille and Y. Scabes, *"*Parsing Idioms in Tree Adjoining Grammars,*" proceedings of the 4th conference of the European chapter of the association for computational linguistics*, Manchester, England, 1989.

[6] E. de la Clergerie, M. A. Alonso Pardo and D. Cabrero Souto, *"*A Tabular Interpretation of Bottom-up Automata for TAG,*" Proc. of TAG+4, 4th International Workshop on Tree-Adjoining Grammars and R elated Frameworks*, pp. 42-45, Philadelphia, PA, USA, 1998.

[7] E. de la Clergerie and M. A. Alonso Pardo, *"*A Tabular Interpretation of a Class of 2-Stack Automata,*" Proc. of 17th International Conference on Computational Linguistics (COLING'98) and 36th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'98)*, Montreal, Canada, 1998.

[8] G.Van Noord, *"*Head-corner parsing for TAG*"*. Computational *Intelligence*, vol.10, no.4, pp. 525-534, 1994.

[9] Shieber, M.Sturart And Y. Scabes, *"*Synchronous Tree Adjoining Grammars," *proceedings of the 13th international conference on Computational Linguistics (COLING 90)*, Helsinki, Finland, 1990.

[10] D. Egedi, H. S. Park, M. Palmer and A. K. Joshi. *Korean to English Translation Using Synchronous TAGs*. AMTA-94, Columbia, Maryland, 1994.

[11] H. Feili and G. Ghassem-Sani, "An Application of Lexicalized Grammars in English-Persian Translation," *Proceedings of the 16th European Conference on Artificial Intelligence* (ECAI 2004), 24-27 Aug. 2004, Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, Spain, pp. 596-600, 2004.

[12] H. Feili and G. Ghassem-Sani, "Using a Decision Tree Approach for Ambiguity Resolution in Machine Translation," *Proceedings of 10th Annual Int. CSI Computer Conference* (*CSICC'2005*), 15-17. Tehran, Iran, vol. 2, pp. 252-256, 2005.

[۱۳] ه. فیلی، و غ. قاسم ثانی،" استفاده از گرامر درخت-افزایشی برای ترجمه ماشینی انگلیسی به فارسی"، **نهمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران**، *دانشگاه صنعتی شریف*، ۶۳۹-۶۴۷، ۱۳۸۲.

[۱۴] پ. خانلری، تاریخ زبان فارسی، **انتشارات سیمرغ**، ۱۹۹۵.

[15] J. W. Amtrup, H. Mansouri Rad, K. Megerdoomian and R. Zajac, *"*Persian-English Machine Translation: An Overview of the Shiraz Project," *Memoranda in computer and cognitive science*, 2000.

[۱۶] م. ر. باطنی، توصیف ساختاری زبان فارسی، **انتشارات امیرکبیر**، ۱۹۹۵.

[17] XTAG research group, *"*A Lexicalized Tree Adjoining Grammar for English,*" Technical Report IRCS 98-18, Institute for Research in Cognitive Science*, University of Pennsylvania, pp. 5-10, 1998.

[18] A. Ratnaparkhi, "A Maximum Entropy Part-Of-Speech Tagger," *Proceedings of the Empirical Methods in Natural Language Processing Conference*, University of Pennsylvania, pp. 17-18, 1996.

[19] K. Megerdoomian, *"*Persian computational morphology: A Unification-based Approach," *NMSU, CLR, Memoranda in computer and cognitive science report*, 2000.

[20] k. Megerdoomian, *"*Unification-based Persian morphology,*" proceedings of CICLing 2000, Center of Investigation on Computation-IPN, Mexico*, 2000.

[۲۱] م. آیت "***یک گرامر محاسباتی برای زبان فارسی***" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۰.

[22] P. Turian, J. L.Shen and I.Melamed, "*Evaluation of machine translation and its evaluation," MT Summit IX*, New Orleans, USA, pp.386-393, 2003.

[23] AMTA, "*MT Evaluation: Basis for Future Directions", Proceedings of a workshop*… 2-3, November San Diego, California. Washington, D.C.: Association for Machine Translation in the Americas, 1992.

[24] Arnold, D. et al., editors, Special issue on Evaluation of MT Systems. *Machine Translation,* vol.8, no.1-2, pp.1-126, 1993.

[25] Falkedal, K., editor, Proceedings of the Evaluators' Forum, Les Rasses, Vaud, Switzerland. Geneva: ISSCO, 1994.

[26] Papineni, K., Roukos, S., Ward, T., Zhu, W., "BLEU: a Method for Automatic Evaluation of Machine Translation", In the Proceedings of the 40th annual meeting of the Association for computational linguistics (ACL), Philadelphia, pp. 311-318, 2002.

[27] Dorr, Bonnie, "Machine translation divergences: A formal description and proposed solution". *Computational Linguistics* , vol. 20, no. 4, pp. 597-633, 1994.

[1] Direct
[2] Transfer
[3] Interlingua
[4] Tree-adjoining grammar
[5] Mildly context-sensitive grammar
[6] Initial trees
[7] Auxiliary trees
[8] Elementary tree
[9] Foot-node
[10] Substitution
[11] Adjoining
[12] Synchronous tree adjoining grammar
[13] Free-word-order
[14] Morphology
[15] Direct, Transfer, Interlingua
[16] Derivation tree
[17] Derived tree
[18] Van Noord
[19] Chart Parser
[20] Dynamic Programming
[21] Part-of-Speech Tagger
[22] Part-of-speech tag
[23] Phrasal Verbs
[24] Mode
[25] Ergative
[26] Heuristic Rules
[27] Comparison
[28] Plural
[29] Indefinite
[30] Enclitic
[31] Punctuation
[32] Bilingual Evaluation Understudy

غلامرضا قاسم‌ثانی مدرک کارشناسی خود را در سال۱۳۶۳ در رشته‌ی علوم کامپیوتر از دانشگاه شهید بهشتی تهران، و مدارک کارشناسی ارشد و دکترای خود را نیز به ترتیب در سالهای ۱۳۶۷ و ۱۳۷۱ در رشته‌ی علوم کامپیوتر (گرایش هوش مصنوعی) از دانشگاه اسکس کشور انگستان اخذ نمود. وی از سال ۱۳۷۲ تاکنون عضو هیات علمی دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف است و مسئولیت‌های اجرایی مختلفی را از جمله معاون آموزشی و رییس دانشکده مهندسی کامپیوتر و مدیر گروه هوش مصنوعی را بر عهده داشته است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه‌ی وی عبارتند از: برنامه‌ریزی در هوش مصنوعی، پردازش زبانهای طبیعی و هوش مصنوعی توزیع شده. آدرس پست الکترونیکی نامبرده عبارتست از :
sani@sharif.edu

هشام فیلی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر به ترتیب در سال های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۸ در دانشگاه صنعتی شریف به پایان رساند و از سال ۱۳۷۸ تاکنون در مقطع دکتری هوش مصنوعی در همان دانشگاه مشغول به تحصیل است. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه‌ی ایشان عبارتند از: پردازش زبان طبیعی، استنتاج خودکار گرامرهای زبان طبیعی، ترجمه خودکار زبان انگلیسی به فارسی. آدرس پست الکترونیک نامبرده عبارتست از:
hfaili@mehr.sharif.edu