

Tłumaczenie tekstów na język migowy w systemie TGT-1: zasady i realizacja

Translating texts into sign language in the TGT-1 system: principles and realization

Nina Suszczańska, Przemysław Szmaj

Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej
ul. Akademicka 16, Gliwice

nsuszcz@star.iinf.polsl.gliwice.pl, pszmal@star.iinf.polsl.gliwice.pl

STRESZCZENIE

TGT-1 jest prototypem systemu tłumaczenia maszynowego tekstów w języku polskim na polski język migowy. Zakres tłumaczonych tekstów jest ograniczony do spraw pierwszej pomocy medycznej. W fazie lingwistycznej przetwarzania wypowiedź wejściowa jest poddawana analizie morfologicznej, składniowej i semantycznej, ograniczonej do poszczególnych zdań. Tłumaczenie odbywa się na poziomie reprezentacji predykatywnej, z wykorzystaniem wybranych relacji semantycznych. W fazie animacyjnej przetwarzania słowa wypowiedzi wyjściowej są przedstawiane przez postać wirtualną. W artykule zamieszczono krótki opis systemu TGT-1 oraz wybrane wyniki działania systemu. Nacisk przy opisie położono na aspekty lingwistyczne systemu.

ABSTRACT

TGT-1 is a prototype of a system for machine translation of Polish texts into the Polish sign language. The scope of texts being translated is limited to problems of the first medical aid. In the linguistic phase of processing the input utterance is subject to morphologic and syntactic analysis as well as to the semantic one limited to individual sentences. Translation is done on a predicative representation level with using selected semantic relations. In the animating phase of processing, output utterance words are presented by a virtual personage. The paper contains a short description of the TGT-1 system as well as sample results it produces. By the description a stress is put on linguistic aspects of the system.

1 Wstęp

Przedmiotem niniejszego artykułu jest opis systemu, realizującego w czasie rzeczywistym tłumaczenie tekstów w języku polskim na animowane sekwencje gestów – znaków języka migowego. Prototyp systemu

o roboczej nazwie TGT-1 (ang. *Text-to-Gesture Translator*) został wykonany w Instytucie Informatyki Politechniki Śląskiej w ramach projektu badawczego 8 T11C 007 17 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1999-2001. System został zbudowany zgodnie z założeniami przedstawionymi w [16]. Różnym aspektom konstrukcji i działania systemu poświęcono już sporo publikacji, m.in. [3, 14, 15, 20]. W niniejszym opisie nacisk położono na aspekty lingwistyczne systemu.

Prace nad systemem są prowadzone z myślą o dwóch celach. Celem bliższym jest stworzenie stanowiska dydaktycznego dla szkolenia nauczycieli języka migowego, jakie prowadzi się obecnie w Ośrodku Szkolno-Wychowawczym dla Głuchych im. Jana Sierzyńskiego w Warszawie. Cel dalszy to stworzenie narzędzia ułatwiającego porozumiewanie się z ludźmi niesłyszącymi, dla których podstawowym środkiem komunikowania się jest język migowy. W ramach realizowanego projektu badawczego zakres tematyczny tłumaczonych tekstów ograniczono do kwestii związanych z pierwszą pomocą medyczną; dzięki temu wstępnemu ukierunkowaniu system będzie mógł służyć jednostkom pomocy doraźnej jak też – ewentualnie – lekarzom pierwszego kontaktu. W miarę rozwoju systemu krąg jego potencjalnych użytkowników będzie się rozszerzał.

Podjęty przez realizatorów projektu problem translacji na język migowy nie został dotychczas w pełni rozwiązany w żadnym kraju na świecie. Podobne prace będą m.in. w zaprzyjaźnionym z Instytutem Informatyki Laboratoire d'Automatique I³D (Interaction, Image et Ingénierie de la Décision) w Université des Sciences et Technologies w Lille (Francja) (por. [10]) oraz w innych ośrodkach (np. [9]).

2 Charakterystyka języka migowego w kontekście tłumaczenia

Na każdy język naturalny można patrzeć jak na pewien system znakowo-pojęciowy, służący celom porozumiewania się ludzi. Próbując analizować i tłumaczyć przy pomocy komputera wypowiedzi w języku naturalnym wygodnie jest przyjąć, że podstawą każdej z nich jest tekst – ciąg słów danego języka, odpowiednio interpretowany, gdy zachodzi taka potrzeba. O ile w przypadku języków fonicznych mamy do czynienia z interpretacją dźwiękową, to w przypadku języków migowych – z interpretacją gestową.

W warstwie tekstowej języka migowego obowiązują określone zasady odnoszące się do słownictwa, składni i semantyki wypowiedzi. Część z nich nawiązuje do zasad obowiązujących w języku fonicznym. Do cech odróżniających można zaliczyć m.in. sztywną składnię i brak zdań złożonych, jak też zastosowanie wielowyrazowych konstrukcji leksykalnych dla wyrażenia czasu i trybu. W warstwie interpretacyjnej języka występują gesty – znaki gestykulacyjne określające litery, liczby, całe słowa, a czasem nawet krótkie zwroty. Gesty to układy statyczne lub ruchy wykonywane rękami.

Szczególną rolę odgrywają w tym dłonie wraz z palcami. W znacznej większości gestów inne części ciała stanowią tylko swoiste tło dla rąk.

Polski język migowy pod wieloma względami przypomina języki używane w innych krajach. Ma też swoje cechy indywidualne, m.in. w zakresie słownictwa i wyglądu wielu gestów, w tym również znaków tzw. alfabetu palcowego. W Polsce jest stosowanych kilka odmian języka migowego. Najważniejsze z nich to „nowoczesny” język migany, wykorzystywany m.in. w tłumaczeniach w niektórych programach telewizyjnych, i „tradycyjny” język migowy. Ich bliższą charakterystykę można znaleźć w [11]. W systemie TGT-1 jako język wyjściowy zastosowano uproszczony dialekt języka migowego łączący wybrane cechy obu podstawowych odmian języka. W dialekcie tym – między innymi – nie występuje fleksja wyrazów.

3 Ogólna organizacja tłumaczenia

W konsekwencji przedstawionego w poprzednim punkcie sposobu traktowania formy tekstowej jako podstawowej formy wypowiedzi w języku naturalnym, w systemie TGT-1 cykl przekształcania wypowiedzi wejściowej na wyjściową został podzielony na dwie fazy: lingwistyczną i animacyjną. W fazie lingwistycznej następuje przekształcenie wypowiedzi wejściowej na wypowiedź wyjściową w takiej postaci tekstowej, która nadaje się do migania „słowo po słowie”. W fazie animacyjnej ma miejsce prezentacja graficzna wypowiedzi wyjściowej na ekranie monitora w postaci animowanej sekwencji gestów. Gesty są prezentowane przez specjalnie w tym celu opracowaną postać wirtualną.

Od strony konstrukcyjnej, w systemie można wyróżnić części lingwistyczną i animacyjną, odpowiedzialne za realizację obu faz. Ważną rolę spełnia też interfejs programowy, sprzęgający główne części systemu i ich liczne moduły wewnętrzne. W skład tego interfejsu wchodzi też rozbudowany interfejs użytkownika.

4 Przetwarzanie w części lingwistycznej

4.1 Podstawowe założenia

Przy pracy nad systemem obowiązywało kilka głównych założeń, w pewnym stopniu ze sobą powiązanych. Dotyczyły one różnych aspektów działania i budowy systemu: trybu pracy, głębokości i zakresu tłumaczenia oraz zastosowanej metody.

Co do trybu pracy, przyjęto, że system będzie działał w czasie rzeczywistym. W związku z tym zrezygnowano z możliwej w innych warunkach pre- lub postedycji tekstu wejściowego i starano się ograniczyć inne czasochłonne czynności. Położono też nacisk na niezawodną pracę systemu przy niepełnym "rozumieniu" wypowiedzi wejściowej.

W trosce o jakość tłumaczenia zdecydowano się realizować przejście z języka wejściowego do wyjściowego na poziomie semantycznym. Problem uproszczono ograniczając się do analizy semantycznej oddzielnych zdań, bez globalnej analizy tekstu rozpatrywanego jako całość. Zawężony zakres analizy jest częściowo kompensowany przez wykorzystanie danych pozalingwistycznych, dotyczących dziedziny problemowej, do której należą teksty wybrane dla tłumaczenia. W przypadku systemu TGT-1 są to – jak wspomniano na wstępie – sprawy odnoszące się do pierwszej pomocy medycznej.

Pewne ograniczenia zostały przyjęte na strukturę składniową wypowiedzi: realizowane jest tłumaczenie zdań pojedynczych, a także zdań współrzędnie złożonych i niektórych typów zdań podrzędnie złożonych. Przed rozpoczęciem tłumaczenia zdania złożone są rozdzielane na zdania pojedyncze. Zdania te są tłumaczone w kolejności ich wystąpienia w zdaniu złożonym.

Jeśli chodzi o metodę tłumaczenia, w tym zakresie opracowano do tej pory wiele podejść (por. np. [4, 13]). W systemie TGT-1 zdecydowano się zastosować schemat tłumaczenia bazujący na interpretacji semantycznej wypowiedzi wejściowej, przedstawionej w odpowiedniej reprezentacji formalnej. Jest to reprezentacja predykatywna. Kolejne kroki przetwarzania poprzedzające utworzenie tej reprezentacji obejmują akwizycję wypowiedzi i jej analizę. Reprezentacja predykatywna wejściowa jest przekształcana w reprezentację wyjściową. Ta ostatnia stanowi podstawę do wygenerowania wypowiedzi wyjściowej w postaci tekstowej.

Patrząc z nieco dalszej perspektywy, podsystem lingwistyczny systemu TGT można uważać za system tłumaczący II generacji [8] z elementami analizy semantycznej. Tłumaczenie odbywa się zgodnie ze znanym schematem analiza—przekształcenie—synteza. Analiza tekstu wejściowego oraz synteza tekstu wyjściowego bazuje na formalizmie grup składniowych [18]. Założenia dotyczące przetwarzania wraz z omówieniem wykonywanych kroków algorytmicznych przedstawiono w [14]. Główne etapy przetwarzania zostaną krótko omówione w następnych punktach.

4.2 Etap akwizycji i analizy wypowiedzi

Akwizycja wypowiedzi ogranicza się do wprowadzania danych wejściowych z pliku tekstowego lub klawiatury.

Analiza wypowiedzi odbywa się zgodnie z klasycznym schematem i obejmuje przetwarzanie morfologiczne, składniowe i semantyczne. Analiza morfologiczna niezbędna jest ze względu na fleksyjność języka polskiego. W systemie TGT-1 jest ona realizowana przy pomocy wielostopniowego analizatora [17]. Analiza składniowa potrzebna jest aby ustalić strukturę zdania oraz wskazać na role składniowe każdej z konstrukcji składniowych w zdaniu. Na tym etapie następuje też podział zdań złożonych na zdania pojedyncze. Analiza została zorganizowana z wykorzystaniem formalizmu grup syntaktycznych [18]. Analiza zdań w języku polskim jest szczególnie

trudna z uwagi na komplikacje, jakie wnosi swobodny szyk wyrazów. Analiza semantyczna jest ograniczona do ustalenia struktury predykatywnej zdania, to znaczy do wskazania ról semantycznych [2] części zdania wyodrębnionych na etapie analizy składniowej. W efekcie analizy tekst wyjściowy jest przekształcany do pewnej postaci symbolicznej STF (ang. *Symbolic Text Form*).

4.3 Etap generacji wypowiedzi wyjściowej

Na tym etapie translator dla zadanej wypowiedzi w notacji STF znajduje jej odpowiednik w języku migowym w postaci tekstowej.

Pierwszym krokiem jest ustalenie predyktywnej struktury zdania wyjściowego. Krok ten jest czysto formalny, ponieważ język wyjściowy i wyjściowy są odmianami tego samego języka (polskiego), co pozwala przyjąć, że struktura predyktywnej wyjściowa pokrywa się z odpowiednią strukturą wyjściową. Dalszym krokiem jest ustalenie części zdania odpowiadających rolom semantycznym. Następnie odnalezione części zdania są układane w kolejności zgodnej ze schematem obowiązującym w języku migowym dla danego typu zdania (oznajmującego, pytającego, przeczącego i ich szczególnych odmian). Na koniec budowane są frazy dla tych zdań należących do wypowiedzi wyjściowej, dla których zabrakło bezpośredniego odpowiednika w zastosowanym schemacie.

W translatorze został zastosowany formalny zapis zdania wyjściowego wykorzystujący relacje semantyczne, wypróbowany w pracy [1]. Z uwagi na efektywność pracy translatora, jak też komplikacje związane z przekazywaniem danych do następnych etapów tłumaczenia, liczbę relacji semantycznych rozpatrywanych w trakcie tłumaczenia ograniczono do trzech. Są to relacje: Aktor, Czynność, Obiekt.

Jako format zewnętrzny zdania wyjściowego została przyjęta lista wyrazów, które należy zaprezentować (animować). Do listy trafiają wyrazy reprezentujące odpowiednie grupy składniowe.

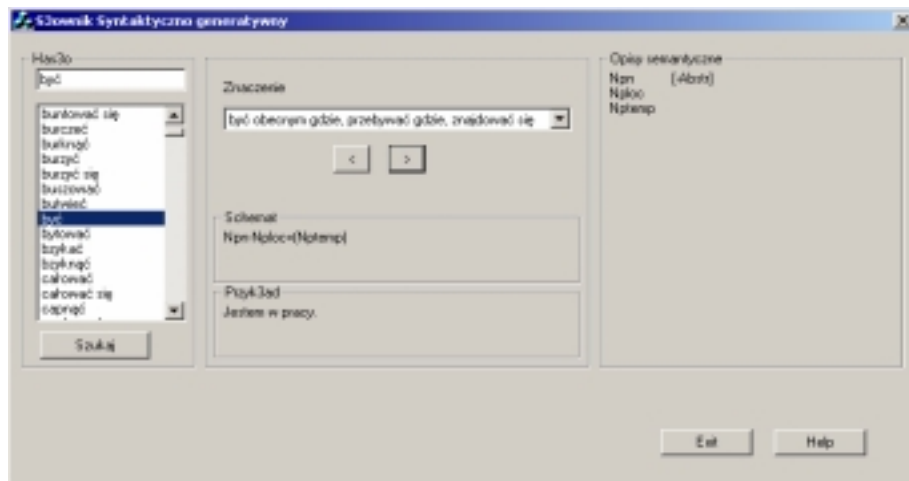
Przykładowe wyniki tłumaczenia przedstawiono niżej w p. 6.

4.4 Słowniki

Wszystkie przekształcenia tekstu w systemie TGT-1 bazują na słownikach. Słowniki zostały zrealizowane w postaci baz danych w formacie Microsoft Access. Bazy te zostały wyposażone w biblioteki funkcji dostępu, umożliwiające odwoływanie się do nich na drodze programowej (por. np. [5]). Zostały też dla nich stworzone dodatkowe aplikacje (np. [6]) umożliwiające dostęp do zawartości słowników, ich modyfikację i uzupełnianie. Narzędzia te mogą być wykorzystane przy wykonywaniu innych prac z zakresu lingwistyki komputerowej. Rysunek 2 przedstawia fragment zawartości wziętego jako przykład słownika rzeczowników, zaś rys. 3 – okienko opisanej w [6] aplikacji obsługującej słownik czasowników.

		Cecha																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
id	rzeczownik	Abstrakcyjność	Konkretność	Żywotność	Nieżywotność	Osobowość	Nieosobowość	Zbiorowość	Żywiol	Roślina	Informacja	Instytucja	Narzędzie	Płyn	Maszyna	Material	Część	Miejsce	Czas	Żywność	Zwierzę
1	adres	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	alkohol	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
3	analiza	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	angina	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	aparat	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	apteka	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
7	badanie	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	bałagan	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Rys. 2. Fragment słownika rzeczowników



Rys. 3. Aplikacja obsługująca słownik czasowników – wygląd ekranu podczas inspekcji wpisu jednego z wariantów znaczeniowych czasownika „być”.

5 Przetwarzanie w części animacyjnej

Do opisu wyglądu poszczególnych znaków gestykulacyjnych języka migowego stosuje się specjalne notacje, tzw. notacje gestograficzne. Szerzej znana jest m.in. notacja HamNoSys (*Hamburg Notation System for Sign Language*) [7, 12]. W systemie TGT-1 wykorzystano notację gestograficzną zaproponowaną przez B. Szczepankowskiego [19]. Jednostką opisu w tej notacji jest tzw. gestogram.

Wypowiedź na wejście części animacyjnej jest podawana w postaci tekstowej. Kolejne wyrazy są konwertowane na odpowiadające im gestogramy. System analizuje gestogram i na podstawie zawartych tam informacji planuje ruch: wyznacza konfigurację początkową i końcową ramion, dłoni i palców postaci wirtualnej, ustala trajektorię i szybkość ruchu. Następnie przekształca uzyskane dane w animację.

W systemie duży nacisk położono na naturalny wygląd prezentacji. Jednym z elementów mających na to wpływ są płynne przejścia pomiędzy poszczególnymi gestami w ramach ich sekwencji. Planowanie ruchu związanego z przejściem od położenia, w którym zakończyła się prezentacja jednego znaku, do położenia, od którego powinna się rozpocząć prezentacja następnego, jest dość skomplikowane. Odbywa się z zastosowaniem wstępnej wersji specjalnego algorytmu, zapobiegającego kolizjom – przenikaniu się poruszających się obiektów.

6 Przykład tłumaczenia

Rozpatrzmy w skrócie opisany w p. 4.2 – 4.3 łańcuch przekształceń w zastosowaniu do zdania wejściowego:

Lekarz powiedział, że zaraz zbada twojego ojca. (1)

Zdanie (1) zostało podzielone na dwa:

Lekarz powiedział (2)

że zaraz zbada twojego ojca (3)

Rozbiór zdania (2) daje następujące wyniki (przytoczone w postaci skrótowej):

$S1 = \{NG3, VG4\}$

SynR=#predykat(VG4, S1) (VG4 = *powiedzieć*)

SynR=#podmiot(NG3, VG4) (NG3 = *lekarz*)

EOC@EFR major - S -1 -1 EOC@EFR (major = zdanie główne)

Zdanie oznajmujące

podmiot: NG3;

orzeczenie: VG4

Podobnie dla zdania (3):

$S2 = \{AG3, NG4, VG6\}$

SynR=#atr(VG2, VG3) (VG2= *zaraz*)
 SynR=#atr(AG3, VG3) (VG3 = *zbadać*)
 SynR=#predykat(VG6, S2) (AG3 = *że*)
 SynR=#podmiot(AG3, VG6) (VG6 = VG3, VG2, AG3)
 SynR=#dop(NG4, VG6) (NG4 = *twój ojciec*)
 EFR@EOC ZPK - . -1 -1 EFR@EOC
 Zdanie oznajmujące
 podmiot: AG3;
 orzeczenie: VG2+VG3
 dopełnienie : NG4;

Struktura logiczna dla zdania (2) ma postać: predykat = *powiedzieć*,
 podmiot = *lekarz*. Reprezentacja predykatywna: Pred(Sub, 0), czyli
powiedzieć(lekarz, 0), gdzie 0 (zero) oznacza puste miejsce. (Gdyby brać
 pod uwagę fakt, że zdanie (1) jest złożone, to miejsce zera zajęłoby S2, czyli
 zdanie następane.) Reprezentacja semantyczna (STF) zdania (2) to:

Pred(*powiedzieć*, S1), Sub(*lekarz*, *powiedzieć*).

W tym przykładzie struktura logiczna zdania wyjściowego ma taką
 samą postać, jak dla zdania wejściowego: predykat = *powiedzieć*, podmiot =
lekarz, szyk elementów logicznych w zdaniu wyjściowym jest także taki
 sam:

Sub + Pred.

Zdanie końcowe ma postać:

Lekarz powiedzieć już.

Zwróćmy uwagę, że czas przeszły w języku migowym jest tworzony
 poprzez użycie słowa *już*, które stawia się na końcu zdania.

Struktura logiczna dla zdania (3) ma postać: predykat = *zaraz zbadać*,
 podmiot = *on* (domyślny), obiekt = *twój ojciec*. Reprezentacja predykaty-
 wna: Pred(Sub, Obj), czyli

zaraz zbadać (on, twój ojciec).

Reprezentacja semantyczna zdania (3):

Pred(*zaraz zbadać*, S1), Sub(*on*, *zbadać*),

Obj(*ojciec*, *zbadać*),

Attr(*twój*, *ojciec*).

Również w tym przykładzie struktura logiczna zdania wyjściowego ma
 taką samą postać, jak dla zdania wejściowego: predykat = *zaraz zbadać*,
 podmiot = *on*, obiekt = *twój ojciec*, ale szyk elementów logicznych w zdaniu
 wyjściowym jest inny:

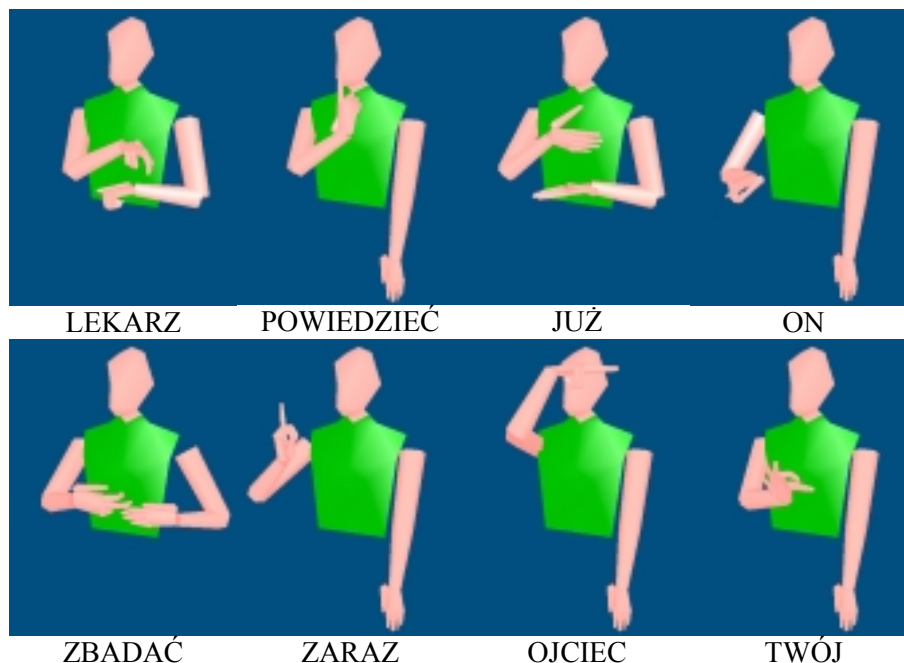
Sub + Pred + Obj

Inny jest także szyk wyrazów w grupie (frazie) czasownika (Pred) i rzeczownika, reprezentującej Obj.

Zdanie końcowe ma postać:

on zbadać zaraz ojciec twój.

Odpowiadającą pełnej wypowiedzi sekwencję gestów przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Sekwencja gestów zdań wyjściowych

7 Uwagi końcowe

Na zakończenie warto zasygnalizować pewne aspekty projektu, mające wpływ na możliwość jego praktycznego zastosowania, a także na perspektywy jego dalszego rozwoju.

Pierwszy aspekt ma związek z efektywnością tłumaczenia przez tworzony system. Przy tworzeniu pierwszej wersji systemu jego efektywność była traktowana jako element drugoplanowy. Mimo to pierwsza wersja systemu zapewnia interpretację niezbyt skomplikowanych tekstów z szybkością porównywalną do tej, jaka występuje przy normalnej komunikacji w języku migowym między osobami niesłyszącymi. Odpowiednie pomiary zostały przeprowadzone na komputerze PC z procesorem Pentium III 733 MHz. Dla części lingwistycznej – po odrzuceniu narzutów systemowych – uzyskano szybkość tłumaczenia rzędu 4 słów/s. Synteza gestów na tym

samym komputerze, wyposażonym w stosunkowo tanią (koszt rzędu 80 USD) kartę graficzną Riva TNT2 M64 z 32 MB pamięci wideo ze sprzętową akceleracją, odbywała się z szybkością 50–110 ramek/s, tj. 3–8 razy większą, niż to jest konieczne. Wobec utrzymujących się tendencji wzrostu mocy obliczeniowej komputerów pozwala to oczekiwać, że system będzie zdolny do pracy on-line nawet po wprowadzeniu planowanych przez autorów ulepszeń funkcjonalnych. Będą one dotyczyć m.in. poprawy jakości tłumaczenia poprzez rozszerzenie listy branych pod uwagę relacji semantycznych (por. p. 4.3) i rozszerzenia zakresu tłumaczonych tekstów. Trzeba też będzie podnieść jakość prezentacji multimedialnej.

Drugi aspekt wiąże się z możliwościami uogólnienia wyników, które osiągnęliśmy. Wiele znanych metod i technik tłumaczenia języków naturalnych stosuje się z powodzeniem do więcej niż jednej pary języków (por. np. [13]). Również podejście przyjęte przez nas ma pewne cechy uniwersalne. Po adaptacji można je będzie zastosować do tłumaczenia wypowiedzi ustnych lub pisemnych w języku polskim na języki migowe innych krajów. Uważamy, że możliwa też będzie bardziej skomplikowana adaptacja systemu do innych języków źródłowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bach M., (2002) *Projekt komputerowych słowników cech semantycznych rzeczowników i przymków polskich*. Studia Informatica (w druku)
- [2] Fillmore C., (1968) *The case for case*, w: E. Bach, R. T. Harms (red.) *Universals in Linguistic Theory*, New York.
- [3] Francik J., Fabian P., (2002) *Animating Sign Language in the Real Time*. Proc. of the 20th IASTED Multiconference Applied Informatics, Innsbruck, Austria
- [4] Garcia-Varea I., Casacuberta F., (1998) *Statistical Translation in Limited Domain Tasks*. ESSLI, Workshop on Machine Translation, Saarbruecken, pp. 34-42
- [5] Grund D., (2002) *Biblioteka funkcji dostępu do danych słownika syntaktycznego czasowników polskich*. Studia Informatica, Vol. 23, No 1 (47)
- [6] Grund D., (2000), *Komputerowa implementacja słownika syntaktyczno-generatywnego czasowników polskich*. Studia Informatica, Vol.21, No 3 (41), s. 243-256
- [7] Institut für Deutsche Gebärdensprache, *Notation von Gebärdensprache: HamNoSys*. Web site (in German and English): <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/Projekte/HamNoSys>.

-
- [8] Isabelle P., Bourbeau L., (1985) *TAUM-AVIATION: Its Technical Features and Some Experimental Results*. Computational Linguistics, Vol. 11, N 1, January-March, pp. 18-36.
- [9] Kurokawa T., (1992) *Gesture coding and a gesture dictionary for a nonverbal interface*, IEICE Trans. Fundamentals, E75-A, 2, pp. 112-121.
- [10] Losson O., Vannobel J-M., (1998) *Sign language formal description and synthesis*, Proc. 2. Euro.Conf. Disability, Virtual Reality & Assoc. Tech., Skövde, Sweden
- [11] Perlin J., Szczepankowski B., (1992) *Polski język migowy*, WSiP, Warszawa
- [12] Prillwitz S., Leven R., Zienert H., Hanke T., Henning J., (1989) *HamNoSys. Version 2.0; Hamburg Notation System for Sign Languages. An introductory guide*. International Studies on Sign Language and Communication of the Deaf, No 5, Signum Verlag, Hamburg
- [13] Streiter O., (1996) *Linguistic Modeling for Multilingual Machine Translation*, Shaker Verlag, Aachen
- [14] Suszczańska N., Szmaj P., (2001) *Machine Translation from Written Polish to the Sign Language in a Symbolic Form*. Proc. 1st Int. Conf. on Applied Mathematics and Informatics at Universities, Gabčíkovo, Slovakia, pp. 253-259.
- [15] Suszczańska N., Szmaj P., Francik J., (2002) *Translating Polish Texts into Sign Language in the TGT System*. Proc. of the 20th IASTED Multiconference Applied Informatics, Innsbruck, Austria
- [16] Suszczańska N., Szmaj P., Szczepankowski B., (1998-1999) *Koncepcja programu tłumaczenia komputerowego z języka polskiego pisanego na język migowy*, Postscriptum, Nr 27-29, s. 63-72
- [17] Suszczańska N., Forczek M., Migas A., (2000) *Wieloetapowy analizator morfologiczny*, w: Speech and Language Technology, eds.: W. Jassem, C. Basztura, G. Demenko, K. Jassem, vol. 4, s. 155-165
- [18] Suszczańska N., (1999) *Komputernaja grammatika sintaksiczeskich grupp*, Cybernetics and Systems Analysis, No 6, s. 166-175
- [19] Szczepankowski B., (1998) *Wyrównywanie szans osób niesłyszących*. Wydawnictwo WSRP w Siedlcach, Siedlce
- [20] Szmaj P., Suszczańska N., (2001) *A system for translation of Polish texts to the sign language*. Proc. 1st Int. Conf. on Applied Mathematics and Informatics at Universities, Gabčíkovo, Slovakia, 260-265.