UNIVERSITAT POMPEU FABRA

Treball/projecte de fi de màster de recerca

"Traducció automàtica aplicada a les llengües de signes: Estat de la qüestió"

Guillem Massó Sanabre

Màster: Ciència Cognitiva i Llenguatge
Edició: 2006/07
Any de defensa: 2007

Col·lecció: Treballs i projectes de fi de màster de recerca

Programa oficial de postgrau
"Comunicació lingüística i mediació multilingüe"

Departament de Traducció i Filologia

Universitat Pompeu Fabra

Director/ora: Toni Badia

Abstract:
En aquest treball analitzem l'estat de la qüestió dels sistemes de traducció automàtica per a llengües de signes. Les principals diferències respecte als traductors que treballen exclusivament amb llengües orals es deriven del processament de la llengua de signes, amb les dificultats que comporten l'escassetat de documents escrits i la mancança d'un sistema d'escriptura normalitzat. Com que haurem de treballar amb dades gestuals i visuals, és necessari tenir en compte l'estat dels sistemes de reconeixement i síntesi dels signes de què disposem. També repassarem els sistemes de transcripció i anotació emprats en les llengües de signes, ja que les mancances en la descripció de les dades lingüístiques afectaran el resultat de la traducció. Per últim, analitzarem els diferents projectes que han treballat fins ara en la traducció automàtica de llengües de signes i intentarem establir els paràmetres bàsics per al desenvolupament d'un traductor per a la llengua de signes catalana.

Keywords:
Sign language, machine translation, sign recognition, sign synthesis, sign language notation, corpus annotation.

TRADUCCIÓ AUTOMÀTICA APLICADA A LES LLENGÜES DE SIGNES: ESTAT DE LA QÜESTIÓ

Guillem Massó Sanabre
Director: Antoni Badia i Cardús

Treball de recerca en Lingüística Computacional
Màster en Ciència Cognitiva i Llenguatge
Universitat Pompeu Fabra

Barcelona, setembre de 2007

ÍNDEX

1 Introducció 4

2 Reconeixement de la llengua de signes 6

3 Síntesi de la llengua de signes 8
3.1 Síntesi a partir dels components primitius dels signes 8
3.2 GesSyCa i la descripció del llenguatge QualGest 9
3.3 Paula: base de dades lèxica per a la traducció 10
3.4 SignSynth: la notació Stokoe en la síntesi 10
3.5 Síntesi de la llengua de signes japonesa en PDA 11
3.6 Projecte eSIGN: eines per a la creació de continguts en llengua de signes 11
3.7 VSigns: el sistema SignWriting aplicat a la síntesi 11
3.8 Sign Synthesizer: editor amb avatar comercial 12
3.9 Proposta d'escriptura amb avatars i el model Movement-Hold 12
3.10 H-Animator i les animacions en dispositius mòbils 13
3.11 Avatars comercials: Jack i Sign Smith 13

4 Sistemes de transcripció 14
4.1 Notació Stokoe: obrint camí 14
4.2 SignWriting: sistema d'escriptura icònica 15
4.3 HamNoSys: un sistema per a la recerca 16
4.4 Glosses: la transcripció més simple 17
4.5 Movement-Hold i els models seqüencials 17
4.6 Berkeley Transcription System: anàlisi de l'adquisició del llenguatge 18
4.7 Notació Szczepankowski per a la llengua de signes polonesa 19
4.8 Sistema de Escritura Alfabética: l'alfabet llatí en la llengua de signes espanyola . 20
4.9 Altres sistemes: Sign PS, SignFont i D'SIGN 21

5 Eines d'anotació i corpus en vídeo 23
5.1 syncWRITER: anotacions associades a un punt de l'arxiu 23
5.2 iLex: integració d'una base de dades lèxica 24
5.3 SignStream: eina d'anotació i corpus de la Universitat de Boston 25
5.4 LS-COLIN: eina d'anotació i corpus de la llengua de signes francesa 27
5.5 Hitachi i l'anotació de corpus en llengua de signes japonesa 28
5.6 CAVA i EUDICO: precursors d'ELAN 29
5.7 ELAN: eina d'anotació en codi obert 29
5.8 Corpus ECHO: corpus multilingüe anotat amb ELAN 30
5.9 Corpus Phoenix: informació meteorològica en llengua de signes alemanya 31

6 Sistemes de traducció automàtica 33
6.1 Traducció directa de japonès a llengua de signes japonesa 35
6.2 HST: combinació de signes i dactilologia 35
6.3 Sistema de transferència per a l'anglès i la llengua de signes americana 36
6.4 Traductor bidireccional per a la llengua de signes japonesa 36
6.5 ZARDOZ: interlingua basada en el coneixement 37
6.6 SYUWAN: substitució dels mots d'entrada 38
6.7 Dos sistemes de comunicació amb traducció entre llengües de signes 38
6.8 Traducció estadística amb reconeixement de la llengua de signes alemanya 39
6.9 La transcripció de Newkirk en la traducció a la llengua de signes americana 39

6.10 TEAM: traducció amb informació visual i espacial 40
6.11 ViSiCAST i la representació de l'estructura del discurs 40
6.12 TESSA: un discurs altament dirigit 41
6.13 ASL Workbench: model Movement-Hold i Gramàtica Lexicofuncional..... 42
6.14 THETOS: traducció a la llengua de signes polonesa..... 42
6.15 SASL-MT i l'estudi de la llengua de signes sud-africana 43
6.16 Blue Sign Translator: sistema portàtil per a la llengua de signes italiana..... 43
6.17 Traducció estadística d'alemany a la llengua de signes alemanya 44
6.18 SYNENNOESE: plataforma educativa per a la llengua de signes grega..... 44
6.19 Sistema híbrid per al tractament dels classificadors 45
6.20 D'espanyol parlat a llengua de signes espanyola en quatre mòduls..... 45
6.21 Traducció de veu a llengua de signes espanyola en la renovació de documents . 46
6.22 IALS: traductor bidireccional entre l'espanyol i la llengua de signes espanyola. 47
6.23 Traducció basada en exemples per a la llengua de signes holandesa 47

7 Conclusions..... 49

Bibliografia 52

1 INTRODUCCIÓ

En aquest treball analitzarem l'estat de la qüestió sobre sistemes de traducció automàtica per a llengües de signes. Abans de discutir la utilitat social d'aquest tipus de sistemes, seria convenient fer algunes puntualitzacions. Les persones sordes no formen un grup homogeni: des dels sords prelingüístics que han adquirit la llengua de signes en la primera infantesa fins a les persones que han perdut l'oïda en l'edat adulta i tenen la llengua oral com a primera i única llengua, hi ha tota una sèrie de casos diferents. D'altra banda, no tots els signants són sords: hi trobem familiars de persones sordes, professionals que hi treballen, investigadors interessats en la llengua de signes, etc. Per convenció, quan parlem de comunitat sorda parlarem de totes aquelles persones que utilitzen la llengua de signes com a mitjà de comunicació.

La llengua de signes és molt més que una alternativa a la llengua oral: constitueix el fenomen cultural més representatiu d'un grup que forma part de la nostra societat. Amb això ja n'hi hauria prou per a tenir en consideració la llengua de signes en tots els àmbits informatius i comunicatius, però a més s'hi afegeixen altres factors. Davant de la facilitat que suposa l'ús de la llengua de signes per a una persona sorda, l'adquisició de la llengua oral requereix un esforç extraordinari, sobretot si tenim en compte els baixos resultats que se solen obtenir. L'elevat índex d'analfabetisme funcional –competències en comprensió i expressió escrites per sota del nivell esperat– dins de la comunitat sorda estableix una barrera a l'hora d'accedir a la informació i l'educació (Zwitserlood et al., 2004: 1). D'aquesta manera, s'estableix un greuge comparatiu entre les persones oients i les sordes. Si es desenvolupen eines que facilitin la creació de continguts en llengua de signes, els membres de la comunitat sorda podran accedir-hi en igualtat de condicions. En aquest sentit, l'aplicació de la traducció automàtica pot ser una bona ajuda.

Els sistemes de traducció automàtica en llengües de signes, com passa amb les llengües orals, no poden substituir els traductors i intèrprets humans. De fet, una de les utilitats principals és servir-los d'eina i facilitar-los la tasca de la traducció. Aquests sistemes també són útils en els casos en què no es pot disposar d'un intèrpret i la qualitat de la traducció no cal que sigui òptima. Altres possibles aplicacions són la creació de material didàctic en llengua de signes, l'elaboració de continguts signats a partir de textos escrits, la comunicació a distància entre usuaris sords i oients o entre sords de llengües de signes diferents, etc.

Les aplicacions de traducció automàtica en llengua de signes han començat amb un retard de dècades respecte a la llengua oral: si els inicis de la traducció automàtica es remunten a la dècada dels cinquanta, la recerca en llengua de signes es desenvolupa principalment a partir dels noranta. El caràcter visual i gestual de les llengües de signes marca la diferència amb les llengües orals; això ha fet que el desenvolupament de sistemes de traducció depengui en gran mesura dels avenços aconseguits en el tractament de la imatge. Un sistema complet de traducció entre una llengua oral i una llengua de signes, amb traducció en tots dos sentits, seguiria l'esquema bàsic representat en la figura 1.1.

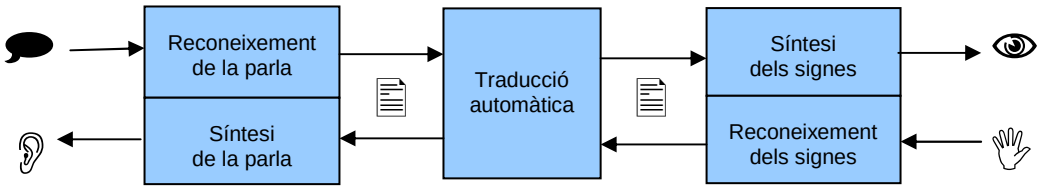

Figura 1.1: Esquema d'un sistema complet de traducció automàtica

Als dos extrems trobem els mòduls de tractament de la parla i de tractament dels signes, els quals controlen l'entrada i sortida de les dades en llengua oral i en llengua de signes respectivament. Per tal de processar aquestes dades, cal tenir-les en un format manipulable. En el cas de les llengües orals sol ser un text escrit, però en les llengües de signes no hi ha un estàndard d'escriptura àmpliament acceptat (Miller, 2001). Aquest problema ha preocupat sempre els estudiosos de les llengües de signes i ha donat com a resultat la creació de diversos sistemes de transcripció. Un cop que les dades han estat codificades, passen al motor de traducció, part central de l'arquitectura on es processa el text per a transformar-lo en l'equivalent en l'altra llengua.

El focus d'interès d'aquest treball és l'estat de la qüestió de la traducció automàtica per a llengües de signes, amb una clara prioritat pels aspectes lingüístics de la traducció. Seguint aquest enfocament, no analitzarem els sistemes de tractament de la parla, àmpliament estudiats i amb diverses aplicacions en les llengües orals (Holmes & Holmes, 2001). Pel que fa al reconeixement dels signes, és un tema complex en el qual estan treballant diversos grups de recerca però que encara té molt de camí per recórrer. En el capítol 2 ens limitarem a indicar-ne les característiques bàsiques i a assenyalar les referències bibliogràfiques on podem trobar una anàlisi més acurada de diversos projectes. La síntesi de la llengua de signes la tractem en el capítol 3. També és una disciplina eminentment tecnològica i no l'analitzarem en profunditat: ens interessen sobretot les implicacions que pot tenir la descripció de la llengua de signes en el resultat final de la síntesi. Aquesta descripció depèn en gran mesura dels criteris emprats en la codificació de la llengua de signes, cosa que ens porta a l'estudi dels sistemes de transcripció en el capítol 4. Com veurem més endavant, aquests sistemes tenen diverses mancances, les quals es poden compensar amb l'ús de les eines d'anotació que presentem en el capítol 5. Aquestes eines s'utilitzen en l'anotació de corpus en vídeo i faciliten la incorporació d'informació gramatical a la transcripció de la llengua de signes. A més, els corpus juguen un paper molt important en l'anàlisi lingüística actual i són fonamentals en l'entrenament dels sistemes de traducció estadístics. En el capítol 6 repassarem diversos projectes de traducció automàtica i veurem com s'integren els components analitzats en els altres capítols en cadascun dels sistemes desenvolupats. Per últim, en l'apartat de conclusions farem una valoració crítica i intentarem establir els paràmetres bàsics per al desenvolupament d'un traductor per a la llengua de signes catalana.

2 RECONEIXEMENT DE LA LLENGUA DE SIGNES

El reconeixement de la llengua de signes és un apartat molt específic del reconeixement del gest. Els signes són les representacions simbòliques que constitueixen una llengua natural, molt diferents de les gesticulacions que acompanyen la llengua oral. Estan altament categoritzats i estructurats, tenen caràcter referencial i presenten fenòmens molt diversos amb valor gramatical. Per la seva complexitat, els avenços en el reconeixement de les llengües de signes són una aportació important al reconeixement d'altres tipus de gesticulacions més simples.

La investigació sobre el reconeixement dels signes és potser la disciplina que ha generat més bibliografia dins de les aplicacions computacionals per a la traducció de llengües de signes. Hi ha diversos articles que fan un repàs als avenços i les dificultats en aquest camp. Parton (2006) presenta alguns dels treballs més destacats en reconeixement i síntesi, traducció automàtica i altres aplicacions afins. Edwards (1998) posa èmfasi en les àrees cap a les quals s'ha de dirigir la recerca futura: el reconeixement de l'expressió facial i la representació dels processos gramaticals que modifiquen els signes. Wu i Huang (1999) se centren en el reconeixement basat en la visió no només de la llengua de signes, sinó dels gestos en general. Loeding et al. (2004) revisen l'estat de la qüestió en reconeixement de signes continus i mostren una taula comparativa dels trets i els resultats dels principals treballs en aquest camp. Però la visió més completa probablement ens la donen Ong i Ranganath (2005), els quals tracten amb profunditat els diversos aspectes de l'anàlisi automàtica de les llengües de signes. D'altra banda, Waleed[1] i Cohen[2] dediquen sengles llocs web al reconeixement del gest i de la llengua de signes on trobem enllaços –encara que no tots actualitzats– amb grups de recerca, congressos, productes comercials, etc.

Hi ha diferents enfocaments a l'hora de desenvolupar un sistema de reconeixement dels signes. Un dels més determinants fa referència al tipus de signes que tractarà: si seran aïllats o continus i, dins dels aïllats, si seran estàtics o dinàmics –ja que en els continus sempre hi haurà moviment. Els sistemes més senzills treballen amb signes aïllats estàtics dels alfabets dactilològics, amb la qual cosa s'evita el problema de la segmentació entre signes i només cal identificar la configuració de la mà. Però si es vol disposar d'una eina realment útil per a la llengua de signes, s'han de poder reconèixer oracions completes amb signes dinàmics i continus. Altres plantejaments són comuns al reconeixement de la parla, com la dependència del signant o el vocabulari limitat. Sempre serà més efectiu un reconeixedor que no hagi de fer front a les possibles variacions entre signants i que a més compti amb un conjunt reduït de signes possibles, però l'àmbit d'aplicació es veurà molt restringit. Els sistemes basats en la visió tenen encara un altre factor afegit: la homogeneïtat del fons. Si s'estableix la necessitat d'utilitzar un fons neutre i uniforme, que no interfereixi en el procés, es poden optimitzar els resultats però se'n limita l'ús en circumstàncies reals i en contextos diferents.

1 http://www.cse.unsw.edu.au/~waleed/gsl-rec/
2 http://www.cybernet.com/~ccohen/gesture.html

El procés del reconeixement passa per tres estadis: captació de les dades, segmentació i classificació. Els mecanismes de captació poden ser directes o basats en la visió. Els directes utilitzen detectors de la orientació i la posició en 3D i guants amb sensors per a la configuració de la mà; també hi ha esquelets per als braços i altres parts del cos. En els sistemes basats en la visió, s'enregistra la imatge del signant amb una, dues o tres càmeres, i la mà pot ser localitzada mitjançant informació sobre el color, el moviment o el contorn. Hi ha mecanismes que discriminen el color de la pell, amb la qual cosa l'usuari no necessita cap instrument complementari i pot signar de manera totalment natural, però hi ha problemes per les diferències de tonalitat, els límits entre la mà i el braç, i la superposició de les dues mans o de la cara. L'ús de guants de colors saturats evita aquests problemes i no destorba excessivament els signants. Els reconeixedors basats en la visió són menys invasius, fàcils d'emprar i transportar, però els resultats que s'obtenen solen ser menys precisos. Amb els mecanismes directes, encara que hi poden haver problemes de calibratge i interferències, s'obtenen mesures més acurades; els inconvenients principals són els costosos i la complexitat tècnica.

Una de les majors dificultats d'aquests sistemes és la segmentació en unitats discretes. La incorporació de pauses entre signes, o altres tècniques similars, són poc naturals i constitueixen una molèstia per als signants; per tant, és imprescindible individualitzar els signes d'una seqüència contínua abans de poder-los classificar. Les possibilitats són diverses, encara que se solen basar en els canvis dels paràmetres –moviment, configuració, etc.– i la velocitat amb què s'executen.

Un cop tenim una sèrie de dades segmentades, cal que les associem a un signe concret de la llengua. Els diferents components poden ser classificats individualment i integrats posteriorment en un signe, o poden ser tractats com un bloc unitari en un únic procés de classificació. Independentment de l'enfocament adoptat, els esquemes més emprats en la classificació de signes són els models ocults de Markov (HMM) i les xarxes neuronals. Els HMM són models estadístics que han estat àmpliament aplicats al reconeixement de la parla i de l'escriptura. Les xarxes neuronals són estructures computacionals aptes per a l'aprenentatge automàtic, desenvolupades més recentment. Hi ha, però, molts altres mètodes: anàlisi del component principal (PCA), anàlisi múltiple discriminant (MDA), mètodes basats en regles, arbres de decisió, etc. (Ong & Ranganath, 2005). Al final, hem d'obtenir la seqüència de signes codificada que servirà d'entrada per al processament de la llengua de signes.

Com assenyala Edwards (1998) i confirmen Ong i Ranganath (2005), els grans temes pendents en el reconeixement de la llengua de signes són els trets no manuals i l'anàlisi de fenòmens gramaticals que modifiquen paràmetres dels signes o utilitzen l'espai. En l'expressió facial trobem informació en tots els nivells lingüístics: lèxic, morfològic, sintàctic, pragmàtic... Si no es pot processar i integrar adequadament amb els signes manuals, tota aquesta informació es perd. Pel que respecta a la gramàtica de les llengües de signes, els treballs més complets han tractat alguns temes de morfologia flexiva, però l'anàlisi dels classificadors segueix sent la qüestió més complexa amb què s'enfronten els sistemes de reconeixement.

3 SÍNTESI DE LA LLENGUA DE SIGNES

La síntesi de la llengua de signes es beneficia dels avenços tecnològics aconseguits en el camp de la realitat virtual. L'ús de personatges virtuals, anomenats avatars, permet crear animacions d'enunciats nous, no prefixats, en una llengua de signes. D'aquesta manera, s'eviten les limitacions imposades pel vídeo: necessitat de tenir tots els resultats possibles prèviament enregistrats, talls en el muntatge de seqüències, diferències entre enregistraments, etc.

Un dels trets diferenciadors de la síntesi de la llengua de signes és que els moviments possibles es veuen considerablement restringits a causa de la categorització dels components dels signes i de les restriccions gramaticals en l'ús de l'espai. Això vol dir que un sistema d'animació aplicat a la síntesi de la llengua de signes ha de tenir unes funcions molt específiques. Wideman i Sims (1998) n'assenyalen els requeriments mínims: 100 graus de llibertat en els moviments dels cos, capacitat per a executar de dos a tres signes per segon, i com a mínim 10 fotogrames per segon en una finestra de 100.000 píxels o més. L'avatar ha de poder moure els muscles, els colzes, els canells, els artells, el coll, els ulls, les celles i els llavis. Pel que fa a la llengua de signes, aquests autors consideren que ha d'incloure l'alfabet dactilològic, uns 3.500 signes manuals i els signes no manuals que formen part de la gramàtica i que tenen caràcter emfàtic. En la pràctica, pocs sistemes deuen complir aquests objectius.

La qualitat del resultat dels sistemes desenvolupats és molt variable, però es poden aconseguir animacions el grau de comprensió de les quals és semblant al dels signants humans. Hi intervenen diversos factors, a banda dels esmentats per Wideman i Sims (1998), com el disseny dels gràfics, la resolució dels problemes de col·lisió o les transicions entre signes, però el que contribueix en major mesura al realisme de les imatges és probablement la generació dels moviments a partir de la captació de dades reals, utilitzada també en el reconeixement dels signes. En canvi, els sistemes que no optin per aquest mètode, encara que no aconsegueixin un grau de naturalitat tan elevat, seran en general més senzills, econòmics i flexibles. Un altre aspecte fonamental és l'expressió dels trets no manuals, sense els quals es perd una bona part de la informació lingüística; malauradament, segueix sent en molts casos l'assignatura pendent.

No analitzarem en profunditat tots els treballs existents: la major part de sistemes de traducció automàtica que veurem en el capítol 6 inclouen la implementació d'un mòdul de síntesi propi, del qual només assenyalarem els trets principals quan tractem aquella part. El nostre objectiu és donar una visió àmplia de les diverses possibilitats i els principals projectes en el camp de la síntesi de la llengua de signes.

3.1 Síntesi a partir dels components primitius dels signes

Losson i Vannobel (1999) proposen un sistema de descripció de la llengua de signes francesa a partir dels seus components primitius especialment pensada per a la síntesi. Els components primitius es basen en els descrits per Stokoe i Battison (v. §

4.1): localització, configuració, moviment i orientació. A més, es complementen amb trets de simetria, de repetició i dinàmics. La descripció es construeix jeràrquicament: cada signe es compon d'uns nivells inferiors amb les especificacions inicials, les finals, les de transició i els moviments; per sota d'aquestes especificacions trobem altres nivells amb els components bàsics.

L'edició es fa en dos nivells per tal de diferenciar la descripció dels signes i de les oracions, les quals incorporen informació gramatical. Aquesta informació es pot expressar mitjançant trets no manuals o per variacions que estableixen la concordança d'un signe amb els seus arguments.

Els autors consideren que la descripció proposada és apta per a la generació de processos gramaticals específics, però queda pendent la comprovació de signes més complexos. Pel que fa a l'avatar, els gràfics de són molt simples, encara que té a favor seu la incorporació de trets no manuals.

3.2 GesSyCa i la descripció del llenguatge QualGest

Dins dels sistema GesSyCa (Gestures Synthesis for Communication) (Lebourque & Gibet, 1999) s'ha creat el llenguatge QualGest (Qualitative Gestures) per a l'especificació dels signes manuals de la llengua de signes francesa. Hi ha una sèrie de primitius que descriuen els paràmetres del signe: espai, moviment, configuració i orientació. En la representació espacial es defineixen les sis direccions ortogonals principals i les possibles combinacions intermèdies, a més de les referències corporals del signant: la posició en l'espai es pot especificar amb una direcció i una distància –que pot ser *a prop*, *intermèdia* o *lluny*– o bé amb la proximitat o el contacte amb una part del cos. Els moviments primitius són: *punt* (estàtic), *línia*, *corba*, *cercle* i *ona*; per a cadascun es defineixen uns paràmetres concrets. La configuració de la mà parteix de cinc configuracions bàsiques en què poden ser modificades les posicions dels dits. Per últim, la orientació es descompon en la del palmell i la del metacarp, i es pot especificar si és relativa –es manté invariable respecte al canell– o absoluta –sense canvis en la referència espacial global. Tots aquest paràmetres es combinen en paral·lel per a formar un gest, i una seqüència de gestos –o un de sol– formen un signe. Els components dels gestos estan estructurats jeràrquicament mitjançant un llenguatge imperatiu. També hi ha operadors que especifiquen la sincronització o els encavalcaments d'ocurrències.

Les descripcions amb QualGest constitueixen l'entrada per al sistema d'animació GesSyCa. Aquest es limita als moviments de la mà i el braç; no té, per tant, cap tipus de component no manual. Els gràfics, amb l'estàndard OpenGL, són molt esquemàtics. El focus d'interès és aconseguir moviments naturals en els quals es troben involucrades diverses articulacions, a més de la descripció qualitativa de l'espai i els moviments del llenguatge QualGest.

3.3 Paula: base de dades lèxica per a la traducció

L'objectiu final del projecte Paula[3] és la implementació d'un sistema de traducció automàtica per a la llengua de signes americana. D'entrada, s'ha començat per la síntesi amb la intenció de crear una base de dades lèxica amb l'animació dels signes (Furst et al., 2000).

La base de dades està organitzada en dues taules: una amb les configuracions manuals i una altra amb la informació per a generar signes complets. Totes dues contenen la informació geomètrica de la representació gràfica dels signes i la informació lingüística que dóna accés al lèxic. Els models seqüencials de Liddell i Johnson, de Sandler i de Brentari (v. § 4.5) s'han pres com a referència en l'elaboració de la informació. La captació de moviments es va descartar perquè les dades poden ser no gaire precises, es troben sotmeses a variacions degudes al context i són difícils de modificar; de manera que es va adaptar un sistema d'animació a la transcripció de la llengua de signes americana. Aquest sistema segueix l'esquema de la base de dades: primer es formen les configuracions, a les quals s'afegiran posteriorment les especificacions sobre la localització i el moviment de les mans.

En el web del projecte es pot veure una demostració d'alguns signes. La qualitat dels gràfics és prou bona i s'està treballant en els components no manuals. De moment, no sembla que hi hagi un producte final disponible.

3.4 SignSynth: la notació Stokoe en la síntesi

SignSynth[4] (Grieve-Smith, 2002) és un prototip en codi obert que utilitza el llenguatge de programació Perl per convertir textos en la notació ASCII-Stokoe (v. § 4.1) en animacions Web3D.

L'aplicació té tres interfícies: en una l'usuari selecciona els valors dels diversos paràmetres dels signes amb menús, en una altra es pot introduir directament el text en format ASCII-Stokoe, i per últim el mòdul dactilològic converteix un text amb caràcters llatins en els signes corresponents de l'alfabet de la llengua de signes americana. Tots tres mòduls donen com a resultat un arbre en ASCII-Stokoe que no especifica els valors de moviment de la notació Stokoe original, sinó que assigna un conjunt de trets a un punt temporal determinat, semblantment al model Movement-Hold (v. § 4.5). L'animació final compta amb uns gràfics bastant esquemàtics.

Grieve-Smith (2002) posa de manifest les limitacions de la notació ASCII-Stokoe en la representació lingüística: no cobreix totes les possibilitats de configuracions, localitzacions i moviments, no hi ha representació dels trets no manuals i no es poden especificar els temps dels signes. Entre altres millores de caràcter tècnic, l'autor preveu adoptar un altre sistema de transcripció en treballs futurs.

---

3 http://asl.cs.depaul.edu/
4 http://www.unm.edu/~grvsmth/signsynth/gw2001/index.html

3.5 Síntesi de la llengua de signes japonesa en PDA

Igi et al. (2003) proposen un sistema per a sintetitzar i crear contingut en llengua de signes en terminals PDA. Aquest projecte combina la síntesi a partir de la captació de moviments en la llengua de signes japonesa amb la síntesi basada en trets primitius per a nous signes. Aquests trets són: posició inicial i final, moviment, configuració, relació entre mans i nombre de fotogrames. A més, l'usuari pot afegir expressions facials i moviments de boca associats a les oracions. El sistema també està pensat perquè el portador del PDA pugui rebre informació en llengua de signes.

Les proves de comprensió de les animacions indiquen que cal millorar la visualització de les expressions facials i els moviments de la boca. També és destacable que la comprensió de paraules sintetitzades a partir de la captació de moviments és major que la de paraules a partir de trets primitius.

3.6 Projecte eSIGN: eines per a la creació de continguts en llengua de signes

El projecte eSIGN[5] (Zwitserlood et al., 2004) forma part del projecte europeu ViSiCAST (v. § 6.11). L'objectiu principal ha estat el desenvolupament d'eines per a la presentació d'informació en llengua de signes: l'avatar Virtual Guido n'és el resultat final. Hi ha dues modalitats d'ús: d'una banda, ens podem descarregar gratuïtament l'avatar per tal de veure informació signada en les pàgines web que en disposin; de l'altra, es poden crear continguts amb les eines d'edició que es faciliten sota llicència, gratuïta si és per a finalitats educatives, de recerca i no lucratives.

La síntesi de la llengua de signes es basa en la notació HamNoSys en format SiGML (v. § 4.3), amb símbols addicionals per a la representació dels paràmetres no manuals. El procés d'edició consta de dues parts: la creació de signes individuals, que s'incorporen a un lexicó, i la formació de seqüències completes a partir dels signes disponibles al lexicó. Hi ha lexicons per a les llengües de signes dels països socis en el projecte –la britànica, l'alemanya i l'holandesa–; per a les altres, cal crear-lo de nou.

En un primer moment, dins del projecte ViSiCAST es van desenvolupar avatars a partir de la captació de moviments –com en el projecte TESSA (v. § 6.12) o les diverses versions de l'avatar Visia–, però en eSIGN es va descartar pels alts costos i la menor flexibilitat. La qualitat del resultat és prou acceptable, encara que els autors indiquen que s'ha de millorar l'expressió no manual i modificar l'aparença de l'avatar.

3.7 VSigns: el sistema SignWriting aplicat a la síntesi

VSigns[6] (Papadogiorgaki et al., 2004) és una eina consultable en la web que genera animacions a partir de text escrit. Es basa en un diccionari amb 3.200 signes en llenguatge SWML (v. § 4.2): per a cada paraula del text escrit, el sistema dóna les possibles traduccions en llengua de signes amb la representació en SignWriting,

---

5 http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/eSIGN/
http://www.visicast.sys.uea.ac.uk/eSIGN/index.html
6 http://vsigns.iti.gr:8080/VSigns

l'equivalent en format SWML i l'animació del signe en diferents avatars del tipus H-Anim. Si una paraula té més d'una interpretació, l'usuari pot triar entre les diverses opcions. Si no es troba al diccionari, en canvi, es pot lletrejar amb l'alfabet dactilològic.

El fet que estigui disponible en la web i es puguin fer proves, permet veure les limitacions de l'aplicació. Els moviments són bastant mecànics i no sempre es generen correctament a partir de la descripció del signe en SWML, potser per mancances en el sistema de transcripció. També es poden detectar alguns problemes de col·lisió. Un dels aspectes que els autors assenyalen com a treball futur és l'animació facial, que actualment no es tracta.

3.8 Sign Synthesizer: editor amb avatar comercial

Irving i Foulds (2005) han desenvolupat un editor per a la llengua de signes amb l'avatar comercial Jack (v. § 3.11). Una interfície gràfica permet la creació relativament senzilla de nous signes a partir d'un conjunt finit dels paràmetres descriptius bàsics. La informació sobre configuracions, terminals, localitzacions i orientacions finals, punts intermedis especials i glosses en anglès o definicions dels signes s'emmagatzema en un fitxer de text ASCII que servirà per controlar l'avatar. Els signes creats s'incorporen a un diccionari. Quan es dóna un text d'entrada, cada paraula és cercada al diccionari i executada, i si no es troba, es lletreja amb l'alfabet dactilològic.

Els autors assenyalen la necessitat de comprovar encara la intel·ligibilitat dels resultats i la naturalitat de la coarticulació. No es contempla, en canvi, la incorporació de paràmetres no manuals.

3.9 Proposta d'escriptura amb avatars i el model Movement-Hold

Yi et al. (2005) també proposen un editor que ha de permetre “escriure” la llengua de signes amb l'ajuda de la realitat virtual. L'objectiu és facilitar al màxim la creació de signes i textos seguint uns principis bàsics: l'usuari ha de tenir un control total sobre els moviments de l'avatar, el sistema no dependrà de cap sistema de transcripció específic, s'han de poder controlar les variacions per processos fonològics amb l'ajustament dels moviments durant intervals de temps concrets, les parts dels signes han de ser ràpidament recuperables des del corpus, cal que la construcció d'elements lingüístics complexos a partir dels elements bàsics sigui ràpida i eficient, i, per últim, la interfície ha de ser fàcil d'usar, s'ha d'adaptar a l'usuari.

En aquest projecte es considera que la implementació més eficient passa per la descripció dels cinc paràmetres lingüístics bàsics dels signes: localització, configuració, orientació, moviment i elements no manuals. El model Movement-Hold (v. § 4.5) serveix de base per a la implementació gràfica dels aspectes fonològics i morfològics. Cada paràmetre d'un gest es construeix mitjançant una interfície gràfica i el gest s'emmagatzema en una base de dades. Un signe es crea a partir dels gestos disponibles amb la introducció d'un factor temporal i s'incorpora a

una altra base de dades. Aquests signes es poden recuperar de la base de dades i modificar per a crear nous signes.

No s'acaba de resoldre el problema de les transicions entre signes: sembla que l'usuari hauria de modificar els signes existents a l'hora de combinar-los. De tota manera, és interessant el plantejament general del sistema i qualsevol editor hauria de tenir en compte els principis bàsics que el regeixen.

3.10 H-Animator i les animacions en dispositius mòbils

A la Universitat d'Udine també es treballa en animació d'avatars tenint en compte les aplicacions a la llengua de signes. H-Animator[7] (Buttussi et al. 2006) és una eina disponible gratuïtament per a modelar animacions sense restringir-ho a cap context o ús concrets, però que compta amb una funció de composició especialment pensada per a les llengües de signes. El sistema es basa en una base de dades que permet compartir i aprofitar el contingut en 3D. A més, les animacions en llengua de signes es poden veure en un dispositiu mòbil amb l'aplicació MobiX3D Player (Nadalutti et al., 2006).

Els creadors consideren que cal millorar encara l'avatar i la visualització dels signes, i modelar més acuradament els gestos. En aquests treballs no sembla que s'hagi donat gaire importància als paràmetres no manuals.

3.11 Avatars comercials: Jack i Sign Smith

Entre els diversos productes comercials trobem el paquet Jack, desenvolupat a la Universitat de Pennsilvània[8] i comercialitzat per UGS[9]. Encara que no es tracta d'un avatar especialment dissenyat per a la llengua de signes, ha estat emprat en els projectes TEAM (v. § 6.10) i Sign Synthesizer (v. § 3.8).

L'empresa Vcom3D[10] (abans Seamless Solutions) comercialitza diverses aplicacions amb avatars, entre les quals es troba Sign Smith. Amb aquest producte es pot crear contingut en llengua de signes i exportar-lo a diversos formats de vídeo. També ofereix animacions en llengua de signes americana que es poden integrar en programes informàtics emprats en l'ensenyament, i un diccionari il·lustrat.

---

7 http://hcilab.uniud.it/h-animator/
8 http://cg.cis.upenn.edu/hms/technology.html
9 http://www.ugs.com/products/tecnomatix/human_performance/jack/
10 http://www.vcom3d.com/

4 SISTEMES DE TRANSCRIPCIÓ

Com hem assenyalat en la introducció, el tractament de les llengües de signes fa imprescindible la codificació de les dades lingüístiques. Aquest no és un problema recent: ja el 1825, Roch-Ambroise Bébian va proposar una descripció de la llengua de signes francesa que incloïa l'expressió facial (Cuxac et al., 2002: 10). Tanmateix, els avenços aconseguits en la recerca sobre llengües de signes es van veure estroncats l'any 1880 amb el Congrés Internacional d'Educadors de Sords de Milà, a partir del qual es va imposar l'oralisme i es va vetar l'us de la llengua de signes. Això va suposar la marginació de les llengües de signes no només en el camp de l'educació, sinó també en la recerca lingüística, encara que van seguir sent el sistema de comunicació habitual dins de la comunitat sorda. Aquesta situació va canviar quan William Stokoe va entrar com a professor d'anglès a la Universitat Gallaudet per a sords l'any 1955. Stokoe es va adonar que la llengua de signes americana posseïa les característiques de les llengües orals, com la doble articulació. La publicació de *Sign Language Structure* l'any 1960, fruit de les seves primeres investigacions, va reobrir el camí per a l'estudi lingüístic de les llengües de signes. I el 1965, Stokoe va publicar, amb Casterline i Croneberg, *A Dictionary of American Sign Language on Linguistic Principles*, amb un sistema de transcripció que permetia presentar els signes segons uns paràmetres gestuals independents de l'ordenació alfabètica de la llengua oral.

Des de la proposta de notació d'Stokoe han anat sorgint diversos sistemes, alguns amb una major implantació que altres. Tanmateix, no s'ha arribat a un consens sobre quin és el millor. Els més coneguts són HamNoSys i SignWriting, els quals parteixen de plantejaments diversos. El primer és hereu de la notació Stokoe, pensat per a l'anàlisi lingüística i amb una representació lineal. Els principals inconvenients són la complexitat, que en dificulta la interpretació, i el tractament deficient dels paràmetres no manuals dels signes. SignWriting, en canvi, neix d'un mètode simbòlic per a representar els moviments de dansa i pretén convertir-se en un sistema d'escriptura internacional per a les llengües de signes. Al contrari que HamNoSys, permet representar la simultaneïtat de trets i és bastant intuïtiu. Aquest últim factor és potser el que en limita la precisió a l'hora de representar unívocament un signe amb tots els components. Un altre sistema àmpliament utilitzat són les glosses: estableixen una relació directa entre el signe i el significat, però no en descriuen els trets, no compten amb uns criteris clars i universals i es troben supeditades a una llengua oral. A banda d'aquests, veurem altres sistemes de transcripció que compten amb recursos disponibles, han estat emprats recentment en projectes d'investigació o presenten un interès especial11.

4.1 Notació Stokoe: obrint camí

Aquest és el primer dels sistemes de transcripció actuals. Hi ha tres conjunts de trets que caracteritzen els signes i que s'escriuen en aquest ordre: *tab* (*tabula* o

11 No analitzarem bases de dades lèxiques –o altres recursos– que poden trobar-se citades en la literatura especialitzada com a sistemes de transcripció: aquest és el cas de SignPhon o Kheiros, entre d'altres.

localització), *dez* (*designator* o configuració de la mà) i *sig* (*signification* o moviment). Els valors dels trets es troben representats per 55 símbols específics: 12 per a *tab*, 19 per a *dez* i 24 per a *sig* (en forma de superíndex) (Muñoz, 2000). Battison va afegir un quart paràmetre: l'orientació o *ori*, que aprofita els símbols del moviment però com a subíndex (Herath et al., 2000: 531).

Algunes mancances d'aquesta notació es van posar de manifest quan es va aplicar a l'estudi de diferents llengües de signes. En principi, el sistema es basava en la llengua de signes americana (ASL), amb la qual cosa no reflectia tots els trets possibles en altres llengües. Un altre inconvenient és que no té en compte els components no manuals dels signes. Això ha fet que s'hagi anat modificant segons les necessitats dels investigadors que l'han utilitzat (Miller, 2001).

Mandel (1993) va adaptar la notació de Stokoe a caràcters ASCII. Grieve-Smith (2002) ha emprat aquest format en el programa de síntesi SignSynth (v. § 3.4) i n'ha comprovat les limitacions.

4.2 SignWriting: sistema d'escriptura icònica

Valerie Sutton era una estudiant de dansa quan en 1966 va inventar un sistema de notació coreogràfica anomenat DanceWriting, que va començar a utilitzar en el Ballet Reial Danès. Quan Lars von der Lieth el va conèixer, va pensar que podria ser útil per a la seva recerca en llengües de signes a la Universitat de Copenhaguen i va demanar l'ajuda de Sutton per transcriure gravacions de signants. D'aquesta manera va néixer SignWriting[12], l'any 1974. Sutton va crear el Center For Sutton Movement Writing a California (EUA) amb finalitats educatives i el sistema va evolucionar fins a arribar a una versió estable el 1985 (Muñoz, 2000).

SignWriting està pensat bàsicament com a sistema d'escriptura, fàcilment llegible i bastant intuïtiu. Els símbols, altament icònics, no segueixen un ordre lineal, sinó que formen signes semblants a pictogrames, amb la qual cosa es facilita la representació de la simultaneïtat de trets (fig. 4.1). Els diferents conjunts de símbols representen la configuració de les mans –modificable segons l'orientació del palmell i dels dits–, el moviment de les mans, el moviment dels dits, el tipus de contacte i els paràmetres facials i corporals –que també poden indicar la localització–, a més dels símbols de puntuació (Parkhurst i Parkhurst, 2001). El fet que sigui un sistema flexible i intuïtiu permet que un signe determinat no tingui una única representació possible. Això pot ser un avantatge a l'hora d'aprendre'l i emprar-lo en l'escriptura, però es converteix en un inconvenient quan necessitem descriure i classificar els signes de manera precisa i unívoca per a la recerca lingüística.

La creació del llenguatge SWML[13] (Costa & Dimuro, 2001), en format XML, ha facilitat la implementació de SignWriting en aplicacions de processament de llengües de signes. És el que utilitza l'eina VSigns (v. § 3.7) per a crear l'animació de signes a partir de text (Papadogiorgaki et al., 2004).

---

12 http://www.signwriting.org/
13 http://sign-net.ucpel.tche.br/swml/

Photos Below: Darline Clark Gunsauls signs Goldilocks in ASL.	SignWriting Printing	SignWriting Shorthand	Stokoe Notation	HamNoSys Notation
1 what?				
2 quote				
3 three				
4 bears				
5 Goldilocks				

Figura 4.1: Quadre comparatiu entre els sistemes de transcripció SignWriting, Stokoe i HamNoSys, extret de la pàgina web de SignWriting: http://www.signwriting.org/forums/linguistics/ling001.html.

4.3 HamNoSys: un sistema per a la recerca

Aquest sistema, un dels més utilitzats en la transcripció de llengües de signes amb finalitats científiques, pren com a punt de partida els treballs de Stokoe. Ha estat desenvolupat a la Universitat d'Hamburg[14]: la primera versió data de 1984 i actualment s'està treballant en la quarta.

14 http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/projects/HamNoSys.html

Els aproximadament 200 símbols que el componen defineixen la configuració de la mà, l'orientació (de la base dels dits i del palmell), la localització i l'acció (inclou tant desplaçaments com moviments sense canvis en la localització, és a dir, canvis de configuració o orientació), a més de la determinació dels signes bimanuals. També s'han creat i ampliat els símbols per als components no manuals, encara que són més aviat limitats (Hanke, 2004; Muñoz, 2000). Permet una descripció acurada dels components fonètics en qualsevol llengua de signes però el resultat és bastant críptic (fig. 4.1).

Dins el projecte europeu ViSiCAST (v. § 6.11), s'ha creat un llenguatge de tipus XML per a la notació HamNoSys anomenat SiGML, el qual supera algunes de les limitacions del sistema (Elliott et al., 2000). Es poden comprovar els resultat de l'aplicació en l'animació dels avatars desenvolupats en el mateix projecte i en el seu continuador eSIGN (v. § 3.6).

4.4 Glosses: la transcripció més simple

La transcripció per glosses és probablement la més estesa per la seva senzillesa. No es tracta d'un sistema estandarditzat ni segueix unes convencions ben establertes, de manera que els criteris poden variar significativament entre autors. Tanmateix, hi ha uns principis bàsics comuns: les glosses són paraules d'una llengua oral –sol ser la pròpia del lloc al qual pertany la llengua de signes–, normalment sense informació morfològica –és un lema associat únicament al significat del signe– i escrit en majúscules. Hi ha alguns signes i abreviatures per expressar alguns aspectes gramaticals: expressió facial, classificadors, repeticions, etc. Un text glossat pot semblar estrany des del punt de vista de la llengua oral, però cal tenir en compte que en cap cas es tracta d'una traducció de la llengua de signes (Chapa, 2000).

(*a*) Exemples de transcripció per glosses extrets de Chapa (2000):

_____s/n
IX-tú TIEMPO HAY
_____t
TEATRO IX-él ENCANTAR
_____afirm
LLAVES HAY

A més de la manca d'uniformitat, el fet que es basin en una llengua oral limita les possibilitat de les glosses com a eina d'intercanvi de dades. Poden ser útils com a complement d'altres sistemes, com veurem amb les eines d'anotació de vídeo, per la senzillesa i la facilitat de la lectura, però no permeten descriure els signes amb precisió.

4.5 Movement-Hold i els models seqüencials

Scott Liddell i Robert Johnson, en *American Sign Language: The Phonological Base*, de 1989, van proposar el model Movement-Hold (o Move-Hold) com a contraposició al model de Stokoe. Aquest autor considerava que els constituents dels signes (configuració, localització i moviment) es realitzaven simultàniament. Liddell i Johnson, en canvi, defensen el contrast seqüencial, de manera que un signe pot ser dividit en segments consecutius. Aquests segments són de dos tipus: moviment

(*movement*) o pausa (*hold*). En els moviments hi ha un canvi en algun dels paràmetres del signe (configuració, localització, orientació). En les pauses, tots els paràmetres es mantenen constants durant un breu període de temps. El principal inconvenient és que els aspectes no manuals no estan representats i hi ha molta informació redundant (Speers, 2001; Vogler, 2003).

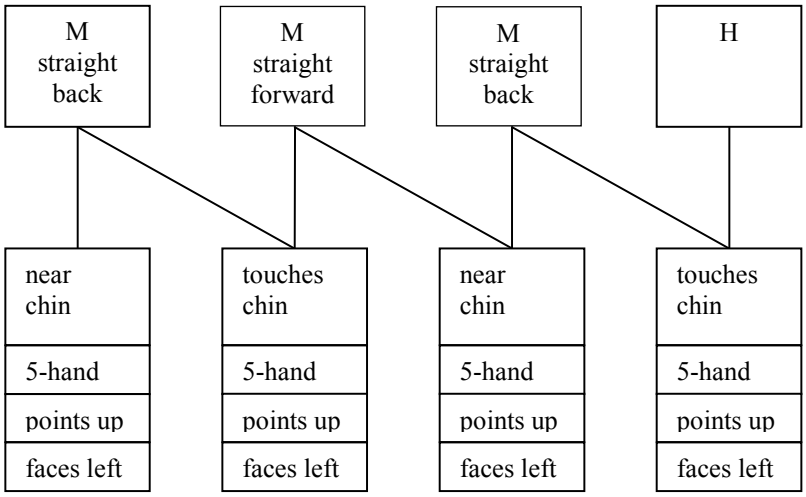

Figura 4.2: Representació del signe MARE en ASL segons el model Move-Hold. Extret de Vogler (2003).

Move-Hold és un model d'anàlisi de les llengües de signes, més que no pas un sistema de transcripció. Se n'han proposat altres de semblants, com els de Sandler, Perlmutter o Brentari (Vogler, 2003; Hernández-Rebollar et al., 2004). Els models seqüencials han estat implementats, directament o amb adaptacions, en diverses aplicacions de reconeixement, síntesi i traducció automàtica de llengües de signes (v. § 3.3, 3.4, 3.9, 6.13 i 6.15).

4.6 Berkeley Transcription System: anàlisi de l'adquisició del llenguatge

Aquest sistema ha estat desenvolupat dins del Berkeley Sign Language Acquisition Project a Holanda i els Estats Units, entre els anys 1998 i 2001. El Berkeley Transcription System (BTS) s'ha integrat a CHILDES15, un sistema per a l'intercanvi de dades sobre el llenguatge infantil amb el format de transcripció CHAT, que utilitza caràcters ASCII. Aquest projecte neix amb la voluntat de fer públicament accessibles les dades a la comunitat internacional (Hoiting & Slobin, 2002).

L' objectiu principal és la descripció dels components del significat que són productius en una llengua de signes concreta i que s'utilitzen en la formació de signes complexos, amb un especial interès pels classificadors. Quan no és possible descompondre un signe, es representa amb una glossa en majúscules, de dos caràcters com a mínim i sense espais interns, a la qual es poden afegir especificacions addicionals. Un signe compost, en canvi, està format per una glossa

15 Child Language Data Exchange System: http://childes.psy.cmu.edu/. Inclou els manuals de CHAT i de BTS.

en minúscules i entre parèntesis seguida dels diferents components semàntics separats per un guió. Cada component té una primera part amb el tipus al qual correspon escrit en minúscules i, separada per un apòstrof, una segona part amb l'especificació del contingut semàntic en majúscules. Els components poden ser dels següents tipus:

- marcador de propietats, és a dir, configuració associada a un classificador que representa un referent semàntic
- trajectòria del moviment
- localització
- postura
- pautes del moviment
- elements no manuals
- aspecte

La transcripció pot tenir una línia associada, marcada amb el símbol inicial %, amb anotacions addicionals. La línia principal es marca amb un asterisc i un codi identificatiu del parlant amb tres lletres majúscules.

(*b*) Exemple extret de Hoiting & Slobin (2002): mà no dominant plana i vertical (**pm'PL_VL** 'plane showing vertical length'), mà dominant amb el classificador de persona en V invertida (**pm'TL** 'twolegged animate being') que es col·loca sobre la mà no dominant (**gol'PL_VL_TOP** 'move to top of vertical plane') com si l'estigués muntant (**pst'STR** 'posture straddle').

***MOT: COWBOY (mount)-pm'PL_VL-pm'TL-gol'PL_VL_TOP-pst'STR .**
%gls: the cowboy got up on the horse's back

Aquest sistema se centra en els aspectes morfosintàctics, semàntics i pragmàtics de l'adquisició del llenguatge, i deixa de banda la fonologia de les llengües de signes. El format i la integració en el sistema CHILDES són els principals avantatges, ja que en faciliten l'ús en altres projectes futurs amb enfocaments similars.

4.7 Notació Szczepankowski per a la llengua de signes polonesa

A finals de la dècada dels noranta, Szczepankowski va proposar un sistema de transcripció amb caràcters ASCII per a l'ensenyament de la llengua de signes polonesa. Aquesta notació fa servir caràcters ASCII habituals. Cada grup de símbols que defineixen un signe és anomenat *gestograma* i especifica sis trets (entre parèntesis s'indiquen les possibilitats predefinides):

- configuració de la mà (52)
- orientació (32)
- localització, en relació a altres parts del cos
- relació entre mans (19)
- direcció del moviment (21)
- paràmetres addicionals del moviment (11)

En el gestograma, primer es defineixen els trets estàtics –els quatre primers– i, a continuació, els dinàmics (Francik & Fabian, 2002).

(***c***) Gestograma del signe ESCRIURE (*pisać* en polonès) extret de Francik & Fabian (2002):

pisać = PE:23k }/ LBk:13k # P:III\V<–"

Trets estàtics:
P: mà dreta
E: configuració E de l'alfabet dactilològic polonès
2: mà horitzontal, palmell avall
3: dits en diagonal cap al front
k: mà centrada en el tòrax
}/: mà dreta sobre l'esquerra, tocant-la
L: mà esquerra
Bk: configuració B modificada de l'alfabet dactilològic polonès
1: mà horitzontal, palmell amunt
3: dits en diagonal cap al front
k: mà centrada en el tòrax
Trets dinàmics:
P: mà dreta
III: moviment cap endavant
\: separa dos moviments simultanis
V: moviment cap a la dreta
<: desplaçament menor que la mitjana
–: moviment al llarg d'una altra part del cos
": dues vegades en el mateix lloc
Els caràcters **#** i **:** són separadors.

L'ús d'aquesta notació s'ha limitat a la llengua de signes polonesa, principalment amb finalitats educatives. Per a aplicacions informàtiques, el nivell de descripció no és prou precís. Tanmateix, ha estat emprat en un sistema de traducció automàtica del polonès a la llengua de signes polonesa en el projecte THETOS (v. § 6.14) (Francik & Fabian, 2002; Szmal & Suszczanska, 2001).

4.8 Sistema de Escritura Alfabética: l'alfabet llatí en la llengua de signes espanyola

Herrero (2003) i el seu equip de la Universitat d'Alacant han proposat un sistema d'escriptura per a la llengua de signes espanyola (LSE) basat en l'alfabet llatí. Consta de set grups de símbols escrits en aquest ordre:

S LCQODF

El símbol **S** correspon als signes bimanuals, conté els trets de la mà no dominant quan no coincideix amb la dominant i sempre va separat de la resta per un espai. **L** indica el lloc d'articulació. L'únic símbol de **C** és un punt i s'escriu només si no hi ha contacte amb el cos. Segueixen la configuració de la mà **Q** i l'orientació **O**. Al final es troben els símbols del moviment, amb una direcció **D** i una forma **F**. A més, hi ha unes regles de simplificació que eviten escriure alguns símbols quan es considera que el seu valor és el "natural" en relació amb els altres paràmetres. En els signes bisil·làbics, el tret que varia en la segona síl·laba es col·loca al final separat per un guió.

(*d*) Alguns exemples en LSE:

sord: **re-v**

r: lloc d'articulació en l'orella
e: configuració de la mà en puny amb índex estès
-: separador en signes bisil·làbics
v: lloc d'articualció en la boca

llibre: **sc òcreb**

sc: signe bimanual amb les dues mans en contacte inicial
ò: configuració de la mà oberta amb dits junts
cre: gir de 90º en sentit horari
b: repetició binària del moviment

bilingüisme: **so'ami eimauwugre**

s: signe bimanual, precedeix els símbols de la mà no dominant
o'a: configuració de la mà amb dits junts flexionats i polze estès
mi: orientació cap al costat i de forma natural (palmell cap al signant)
ei: configuració de la mà amb dits índex i mitjà estesos i separats
mau: orientació de la mà apuntant cap amunt i el palmell cap al receptor
wu: moviment recte cap avall
gre: gir de 180º en sentit horari

Aquest sistema no pretén ser una eina d'anàlisi: és una proposta d'escriptura de la LSE que utilitza els mateixos mitjans que l'escriptura de la llengua oral. Els seus creadors afirmen que en poques setmanes es pot dominar, però d'entrada no sembla gaire senzill. Caldrà veure el grau d'acceptació que tindrà i si s'estendrà a altres llengües de signes. De moment, n'està prevista l'aplicació en un projecte de diccionari normatiu de la Fundación CNSE en col·laboració amb la Fundación Vodafone España16 i en un diccionari històric de la Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes17, tots dos en LSE.

4.9 Altres sistemes: Sign PS, SignFont i D'SIGN

El projecte Sign PS (Sign Printing System)18 forma part del programa TIDE (Technology Initiative for Disabled and Elderly People) de la Unió Europea. S'ha desenvolupat un prototip d'editor altament icònic: no és tant un sistema de transcripció com una interfície per a "dibuixar" els signes i crear documents intel·ligibles per als signants (fig. 4.3).

El sistema Literal Orthography va ser creat per Newkirk l'any 1986. Utilitza caràcters ASCII, amb la qual cosa és fàcilment implementable, però no té en compte els paràmetres no manuals. SignFont n'és l'evolució, però basat en icones d'escriptura linear. Encara que han estat emprats per alguns investigadors (Grieve-Smith, 1999) (v. § 6.9), actualment no hi ha cap recurs disponible i les fonts d'informació no es troben actualitzades.

16 http://www.vodafone.es/VodafoneFundacion/FundacionVodafone/0,,25308-6337,00.html
17 http://www.cervantesvirtual.com/seccion/signos/index.jsp
18 http://www.handicom.nl/english/Signps/index.asp

Paul Jouison va idear D'SIGN per a la llengua de signes francesa (Cuxac et al., 2002: 10). És bastant complex però té en compte els factors discursius, on els paràmetres no manuals tenen gran importància. No ens consta que hagi estat implementat.

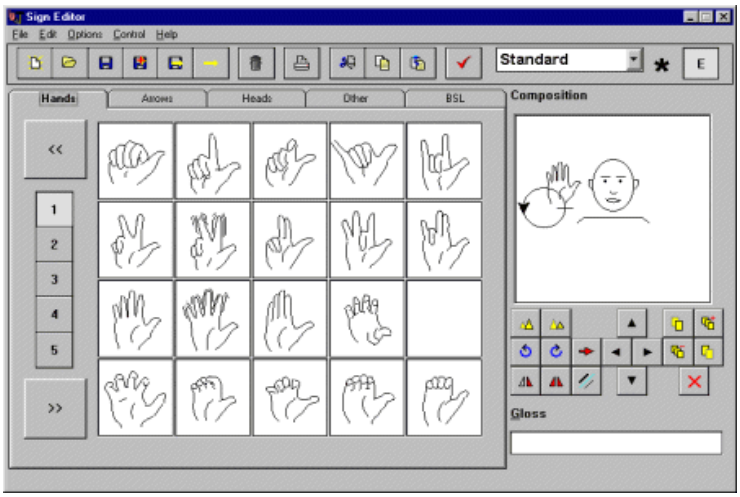

Figura 4.3: Aspecte de l'editor de Sign PS. Extret del lloc web del projecte.

5 EINES D'ANOTACIÓ I CORPUS EN VÍDEO

En la recerca lingüística actual, el tractament de corpus ha adquirit un paper rellevant, ajudat pel desenvolupament de les noves tecnologies. Això ha permès treballar amb una gran quantitat de dades reals pertanyents a registres diferents. En les llengües orals disposem de nombrosos corpus amb característiques molt diverses: des d'uns milers de paraules fins a milions, anotats o sense anotar, orals o escrits, monolingües o paral·lels. En aquest sentit, l'estudi de les llengües de signes porta un retard de dècades, agreujat per les dificultats de codificació derivades de la transcripció. La major part dels corpus existents són molt reduïts, han estat compilats *ad hoc* per a projectes concrets segons les necessitats de la recerca i no es poden consultar públicament. A més, cadascun empra el sistema de transcripció que considera oportú, de manera que les dades no són uniformes i difícilment es poden contrastar. La integració d'arxius de vídeo es converteix aleshores en la solució més adient, ja que permet contrarestar, si més no en part, les mancances de la notació amb l'observació directa de les dades. És el millor format per a llengües purament visuals que no disposen de textos escrits.

Aquí veurem diverses eines d'anotació de vídeo i els corpus de llengües de signes que les han emprat. En alguns casos s'utilitza algun dels sistemes de transcripció descrits en el capítol anterior –principalment les glosses–, en d'altres trobem una transcripció "en partitura". Aquest mètode consisteix en transcriure cadascun dels paràmetres per separat i en paral·lel, com si es tractés d'una partitura amb els diferents instruments sincronitzats. Després, els criteris que s'adoptin en l'anotació dels paràmetres poden variar entre corpus. Hem de destacar, tanmateix, l'eina d'anotació ELAN: és l'única de codi obert que funciona en diferents plataformes. A més, ha estat emprada en el corpus ECHO, d'accés públic i multilingüe, amb una clara voluntat d'establir uns estàndards d'anotació i facilitar l'intercanvi de dades.

Hi ha altres eines desenvolupades per a l'anotació multimodal de llengües orals semblants a les que presentem aquí i que podrien adaptar-se a les llengües de signes (Martell, 2001; Dybkjaer et al., 2001), però nosaltres ens centrarem en les que ja han estat utilitzades específicament en projectes sobre llengües de signes. D'altra banda, algunes de les que veurem aquí s'empren en corpus multimèdia de llengües orals. Per tant, les aplicacions de l'anotació de vídeo ultrapassen els límits entre llengua oral i llengua de signes i amplien les possibilitats de l'anàlisi lingüística.

5.1 syncWRITER: anotacions associades a un punt de l'arxiu

En un projecte conjunt entre MED-I-BIT GmbH i la Universitat d'Hamburg s'ha desenvolupat syncWRITER19, una eina d'anotació amb integració de vídeo (Hanke & Prillwitz, 1995; Dybkjaer et al., 2001). Es tracta d'un producte comercial disponible en anglès i alemany. L'última versió és la 2.0 i funciona només en Macintosh. Es complementa amb els programes QuickTime i AppleScript.

19 http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/software/syncWRITER/info.english.html
http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/Projekte/Projekte/syncWRITER.html

Com totes les eines d'anotació que veurem, syncWRITER permet la sincronització d'arxius de vídeo i àudio amb el text de la transcripció. L'usuari determina el nombre de pistes i n'escull el tipus: text, imatge o vídeo. L'arxiu d'imatge s'integra en una pista de vídeo, que es pot segmentar i sincronitzar amb les altres. Les pistes de text no es basen en cap sistema de transcripció concret: se'n pot fer servir qualsevol sempre que els caràcters formin part d'una font estàndard.

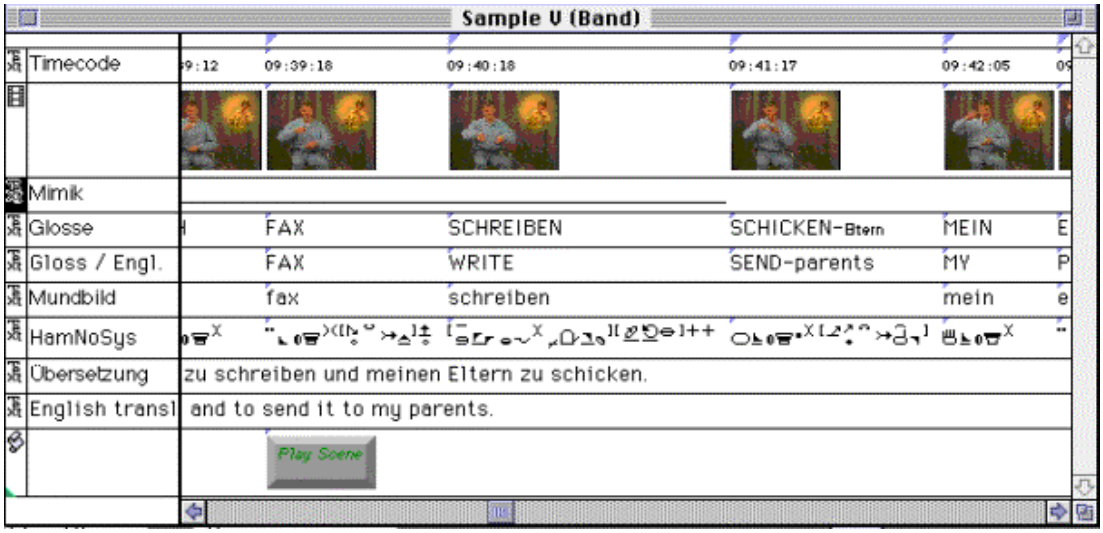

Figura 5.1: Exemple de transcripció sincronitzada amb vídeo extret d'Hanke i Prillwitz (1995).

Les pistes es troben sincronitzades mitjançant unes marques anomenades *syncTabs* que les divideixen i que alineen automàticament els segments de les diferents pistes. Les dades s'associen al punt on es troba aquesta marca, no a un interval temporal. Aquest és el principal inconvenient de syncWRITER, ja que no hi ha una noció d'objecte amb principi, durada i final, i no és possible la superposició de segments. Un altre punt feble és que la informació es codifica en una sola pista, no és segmentable –en altres aplicacions veurem que es poden agrupar pistes o establir-ne dependències.

El programa permet fer cerques simples a l'interior d'una pista. Si es volen fer cerques complexes, cal crear *scripts* específics.

Aquesta eina ha estat emprada en els corpus de la Universitat d'Hamburg per a l'estudi de la llengua de signes tant en infants com en adults.

5.2 iLex: integració d'una base de dades lèxica

La implementació d'iLex20 (Hanke, 2002), feta per la Universitat d'Hamburg, està orientada a la comercialització del producte, encara que no ens consta que estigui disponible. Funciona per a MacOS, MacOSX i Windows 2000. Per a les funcions de vídeo utilitza el programa QuickTime.

20 http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/ilex/

L'objectiu del producte és millorar les funcions de syncWRITER (v. § 5.1) i integrar-hi una base de dades lèxica del tipus GlossLexer, desenvolupada també a la Universitat d'Hamburg. Això permet treballar amb grans quantitats de lèxic i facilita el treball en equip, entre altres motius perquè es construeix un lexicó durant la transcripció. Es basa en el sistema de notació HamNoSys en format SiGML (v. § 4.3).

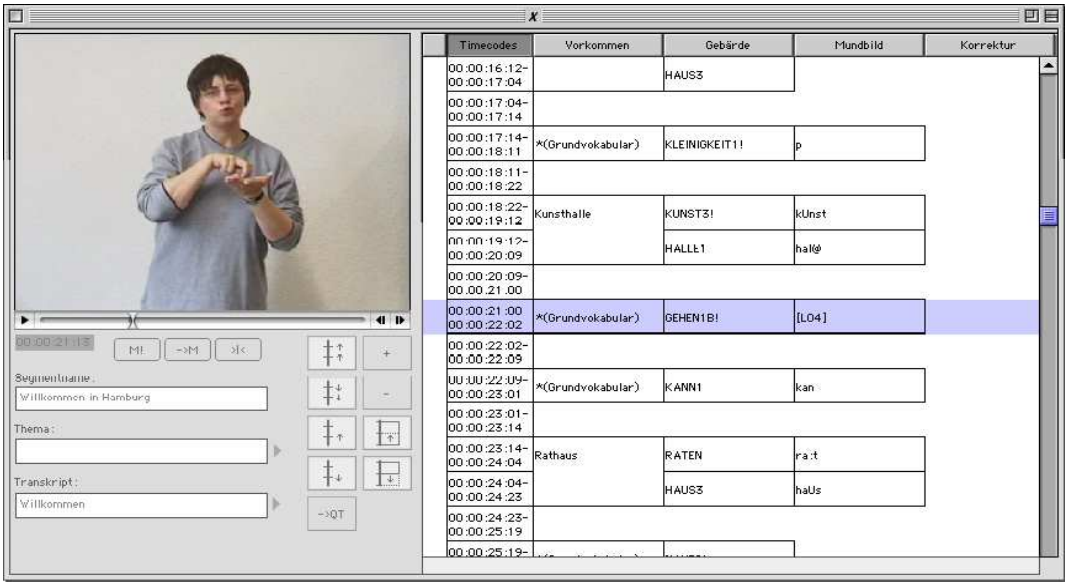

Figura 5.2: Finestra de transcripció vertical d'iLex. Extret de http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/ilex/TISLR2004Poster.pdf.

El programa crea una base de dades relacional amb taules compostes per fileres i etiquetes. Les etiquetes contenen text en format lliure o referències a altres taules de la base de dades (p. e. signes), segons el tipus de filera al qual han estat assignades. El fet que l'usuari disposi d'un explorador per als valors de les entrades restringides garanteix la integritat de les dades en el conjunt del corpus i el lexicó. Es poden establir dependències entre fileres per a obtenir estructures alineades. També es poden agrupar en conjunts en el cas que hi intervinguin diferents parlants.

Les cerques es fan en SQL, però aquest format aplicat a estructures relacionades temporalment, com les de corpus anotats, no és gaire eficient. Hanke (2002) també assenyala com a deficiència la impossibilitat de mantenir la integritat de les coreferències, cosa que el sistema HamNoSys permet fer.

Com syncWRITER, iLex s'utilitza en corpus anotats de la Universitat d'Hamburg.

5.3 SignStream: eina d'anotació i corpus de la Universitat de Boston

SignStream21 forma part de l'American Sign Language Linguistic Research Project de la Universitat de Boston, la qual atorga llicències del programa a investigadors, professors i estudiants amb finalitats no comercials. L'actual versió 2.2 funciona sota

21 http://www.bu.edu/asllrp/signstream/index.html

Mac OS. S'està treballant en la versió 3 en llenguatge Java per a Mac OS X, Windows i UNIX (Neidle et al., 2001; Dybkjaer et al., 2001).

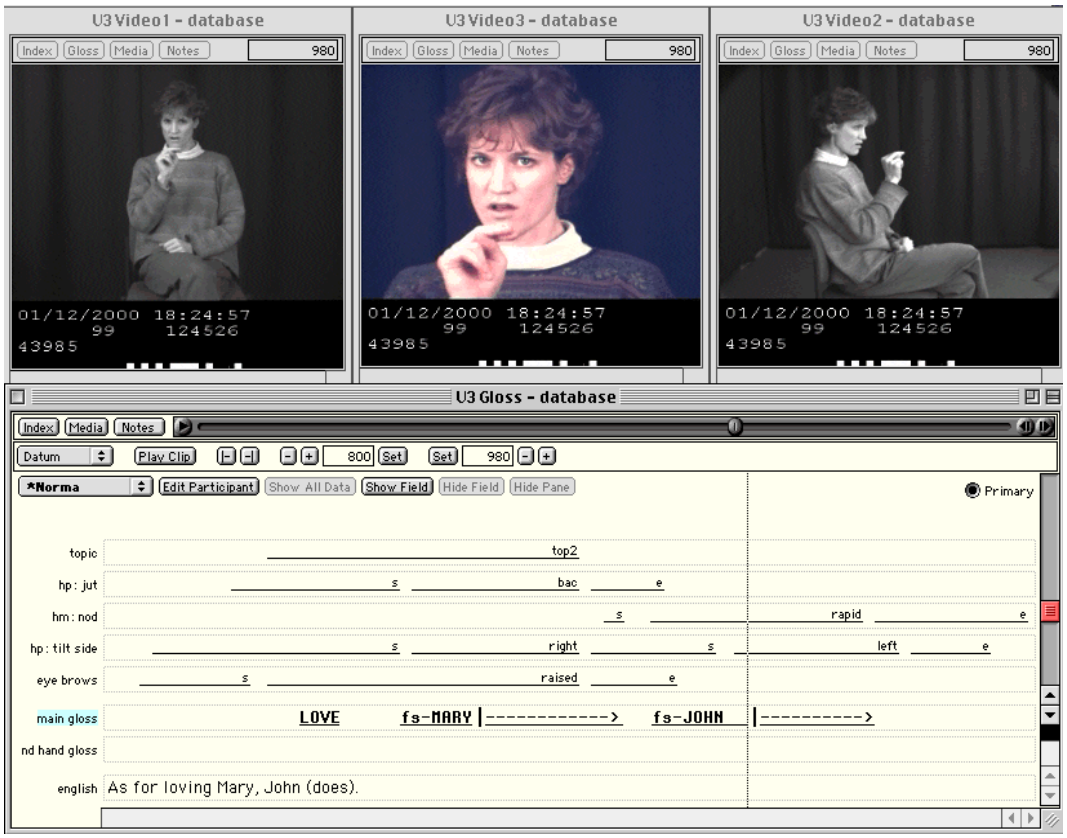

Figura 5.3: Exemple de SignStream extret del lloc web del projecte.

Permet sincronitzar fins a quatre arxius de vídeo. També s'hi pot associar un arxiu àudio i veure'n l'oscil·lograma. La finestra amb les dades de la transcripció és composta per diversos camps predefinits per a les glosses, per a la descripció anatòmica de la posició i el moviment del cap i el tronc superior i per a les funcions interpretatives. També hi ha camps de text lliure i se'n poden definir de nous amb qualsevol tipus de valors.

Tots els camps estan alineats amb el vídeo. En cadascun s'hi estableix la segmentació més adient –no és comuna a tots els camps, com en els dos programes anteriors– i s'associen els segments a intervals de fotogrames. També es poden crear diferents àrees de transcripcions per a diferents participants.
Hi ha la possibilitat de fer cerques complexes mitjançant unes finestres que mostren els camps i els valors disponibles en l'arxiu seleccionat. Es poden utilitzar els operadors booleans habituals i operadors específics (p. e. WITH per a combinacions de dades). La cerca es fa en passos successius, de manera que es pot anar afinant. Tant les cerques com els resultats es poden desar en un arxiu.

La Universitat de Boston ha recopilat un corpus anotat en llengua de signes americana (ASL) que es distribueix amb les llicències del programa.

5.4 LS-COLIN: eina d'anotació i corpus de la llengua de signes francesa

En el projecte LS-COLIN22 han participat diversos grups de les universitats de Paris 8 (Sciences du Langage), Paris 4 (CAMS-LaLIC) i Toulouse 3 (IRIT-TCI) i el CNRS (LIMSI). Un dels objectius era la creació d'una eina d'anotació de vídeo i l'utilització en l'estudi de llengües de signes basat en corpus (Cuxac et al., 2002). No es tracta d'un producte comercial.

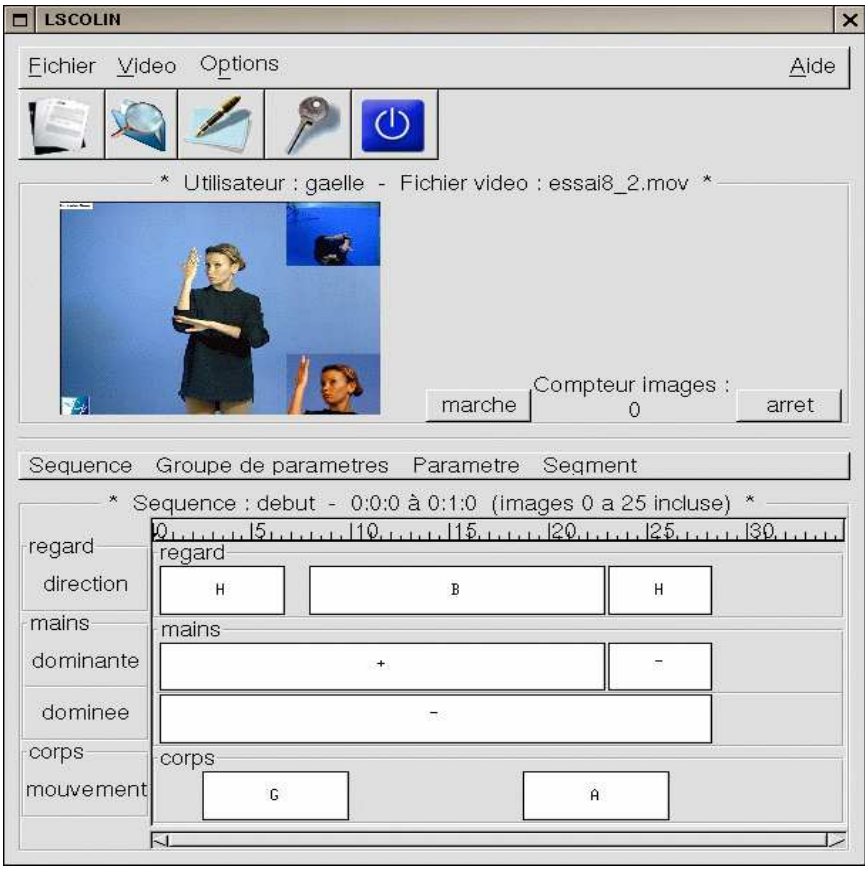

Figura 5.4: Exemple de l'editor extret de Cuxac et al. (2002).

L'usuari pot definir diferents paràmetres amb els següents tipus de valors: icones, codis (caràcters), descripcions literals (text) i valors numèrics. Quan es tracti de llistes de valors tancades, es poden crear menús contextuals. Cada paràmetre es segmenta de manera independent i és possible agrupar-los (p. e. creant un grup amb la mà dominant i la no dominant).

El projecte inclou la recopilació d'un corpus en llengua de signes francesa (LSF) amb tres càmeres sincronitzades (frontal, primer pla facial i superior). Hi intervenen tretze locutors als quals s'ha demanat que expliquin dues històries, dos temes d'actualitat, receptes de cuina i temes de lingüística. També s'han recollit textos en llengua de signes brasilera (LIBRAS) i llengües de signes primàries que permeten establir un estudi contrastiu.

22 http://www.irit.fr/LS-COLIN

5.5 Hitachi i l'anotació de corpus en llengua de signes japonesa

El Central Research Laboratory de la companyia Hitachi23 ha recopilat un corpus en llengua de signes japonesa que han anotat amb una eina pròpia (Koizumi et al., 2002). Una part del corpus es troba a disposició dels investigadors.

L'eina d'anotació pot sincronitzar fins a tres arxius de vídeo. La novetat rau en la incorporació d'un sistema de reconeixement i síntesi d'imatge: en una de les finestres es veu un *avatar* que reprodueix els signes que s'han captat mitjançant guants de dades. El programa també aprofita el sistema de reconeixement per proposar els límits de segmentació dels signes. Una altra funció d'anotació és l'aplicació de plantilles per a expressions similars.

Figura 5.5: Aspecte de l'eina d'anotació. Extret de Koizumi et al. (2002).

A més de recuperar dades d'una transcripció, és possible comparar proferències d'una mateixa oració. L'usuari especifica les categories de trets i els arxius que vol comparar i pot veure els resultats amb diferents alineacions.

El corpus conté, d'una banda, 2500 exemples de 360 oracions amb els fenòmens gramaticals bàsics de la llengua de signes japonesa: cada oració ha estat interpretada per tres o quatre signants nadius, han estat repetides pels mateixos signants i també imitades per d'altres. D'altra banda, hi ha 300 oracions de llenguatge espontani de dos signants als quals s'han presentat unes escenes concretes.

S'han anotat per separat els signes manuals i els no manuals. Els primers s'han identificat amb una glossa en japonès, la concordança s'ha expressat amb un sufix, i l'aspecte i els classificadors s'han descrit entre parèntesis. En els signes no manuals s'han anotat les marques gramaticals amb informació sintàctica i adverbial i les marques lèxiques associades a signes manuals específics.

23 http://www.hqrd.hitachi.co.jp/crle/news_pdf_e/20020913_d.pdf

5.6 CAVA i EUDICO: precursors d'ELAN

CAVA24 (Computer Assisted Video Analysis) i EUDICO25 (European Distributed Corpora) són projectes del Max Planck Institute for Psycholinguistics (MPI). L'objectiu és l'anàlisi de corpus multimèdia tot facilitant l'intercanvi de dades. CAVA és dependent de la plataforma i combina eines per a Macintosh i per a PC, amb una base de dades Oracle en un servidor UNIX. EUDICO, en canvi, és independent de la plataforma, accepta diversos formats d'emmagatzematge i permet les operacions de distribució per Internet. No són productes comercials.

CAVA inclou dues eines d'anotació: Transcription Editor (TED) i MediaTagger. TED funciona sota Windows i permet fer transcripcions i anotacions alineades amb enregistraments de vídeo analògics. MediaTagger funciona per a Macintosh i permet crear files d'anotacions amb etiquetes per a transcripcions de vídeo digitals (Dybkjaer et al., 2001).

EUDICO inclou algunes funcions de MediaTagger més altres d'addicionals i és l'evolució de l'anterior sistema. Es basa en un model uniforme de representació de corpus desenvolupat al MPI i anomenat Abstract Corpus Model (ACM) (Wittenburg et al., 2002; Dybkjaer et al., 2001).

El principal interès d'aquestes aplicacions rau en el fet que són les precursores de l'eina d'anotació ELAN, que analitzarem a continuació.

5.7 ELAN: eina d'anotació en codi obert

L'eina d'anotació ELAN26 (EUDICO Linguistic Annotator) és un producte en codi obert del Max Planck Institute for Psycholinguistics (MPI) per a finalitats no comercials. Està escrit en Java i treballa en diferents plataformes: Windows, Mac OS X i Linux. L'última versió és la 3.1.0.

L'usuari pot triar la llengua de la interfície entre les vuit disponibles: català, holandès, angles, francès, alemany, portuguès, espanyol i suec. Es poden associar fins a quatre arxius de vídeo i un d'àudio a un document. Les anotacions s'estructuren jeràrquicament: hi ha línies mare amb anotacions associades a un interval del fitxer de vídeo i línies filles amb anotacions associades a les anotacions de línies mare (Nonhebel et al., 2004). El nombre de línies és il·limitat, i l'usuari les defineix segons les seves necessitats: pot afegir nous tipus de línia o modificar-ne els existents. També és possible definir vocabularis controlats. Cada línia es segmenta per separat i els intervals s'associen a seqüències de fotogrames. El contingut textual de les anotacions és sempre en Unicode i s'emmagatzema en format XML. El programa suporta la importació i exportació d'arxius en diferents formats.

---

24 http://www.mpi.nl/world/tg/CAVA/CAVA.html
25 http://www.mpi.nl/world/tg/lapp/eudico/eudico.html
26 http://www.lat-mpi.eu/tools/elan/

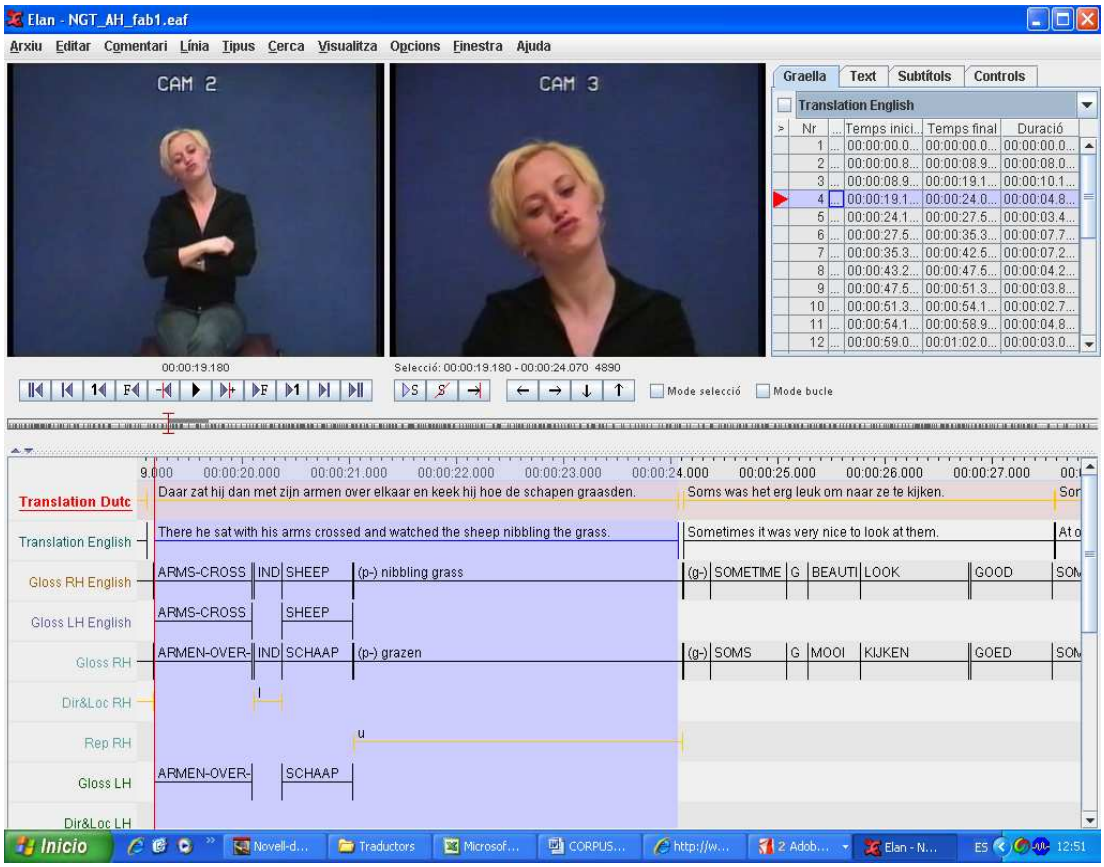

Figura 5.6: Exemple de l'eina ELAN amb una anotació del corpus ECHO.

Hi ha l'opció de fer cerques dins un únic document o en diversos arxius. És possible utilitzar expressions regulars, aplicar-hi restriccions, afinar la cerca, guardar-la o exportar els resultats.

5.8 Corpus ECHO: corpus multilingüe anotat amb ELAN

Dins del projecte europeu ECHO (European Cultural Heritage Online) hi ha hagut una iniciativa per crear un corpus en diferents llengües de signes europees27 en el qual han intervingut el Max Planck Institute for Psycholinguistics i les universitats de Nijmegen, d'Estocolm i la City de Londres. El corpus, destinat a l'estudi comparatiu entre les llengües de signes sueca (SSL), britànica (BSL) i holandesa (NGT), ha estat anotat amb ELAN (v. § 5.7) i es troba disponible en Internet. Això respon a la voluntat de compartir les dades i contribuir a l'establiment d'uns estàndards per tal de facilitar la recerca en llengües de signes.

Amb aquesta filosofia, s'han elaborat uns criteris de transcripció que pretenen ser prou complets com per permetre diferents anàlisis (Nonhebel et al., 2004). Les línies d'anotació són:

27 http://www.let.kun.nl/sign-lang/echo/

- traducció anglesa
- traducció sueca o holandesa
- glossa (mà dreta i mà esquerra per separat) (en anglès i en suec o holandès)
- repetició (mà dreta i mà esquerra per separat)
- direcció i localització espacial (mà dreta i mà esquerra per separat)
- cap
- celles
- obertura dels ulls
- direcció de la mirada
- boca
- galtes
- rol
- comentaris/notes

El contingut textual en les tres llengües és compost per cinc faules d'Esop, un petit lexicó i entrevistes amb els signants, a més de poesia en BSL i NGT. També inclou dos segments anotats del corpus *Gehörlos So!*, amb entrevistes en llengua de signes alemanya (DGS). Malauradament, no tots els textos estan anotats i no sempre l'anotació segueix totes les convencions establertes.

Aquest corpus ha servit a Morrissey i Way (2005; 2006) (v. § 6.23) com a base d'un traductor automàtic basat en exemples. Tanmateix, aquests autors han posat de manifest que el corpus no és prou gran ni els textos són els més adients per a aquest tipus d'aplicacions.

5.9 Corpus Phoenix: informació meteorològica en llengua de signes alemanya

Aquest corpus conté arxius de la secció d'informació meteorològica del programa Tagesschau del canal alemany de televisió Phoenix, que ofereix les notícies amb interpretació simultània a la llengua de signes alemanya (DGS). Ha estat elaborat a la Universitat d'Aachen amb la intenció d'aplicar-lo a un sistema de traducció automàtica estadística (Bungeroth et al., 2006). No en tenim constància de la disponibilitat.

El corpus té tres parts: 104 vídeos anotats amb ELAN (v. § 5.7), un corpus paral·lel d'oracions en alemany i DGS, i un corpus monolingüe en alemany. En l'anotació del vídeos han adoptat el sistema de transcripció per glosses amb les especificacions del grup DESIRE (Deaf and Sign Language Research Team) de la mateixa universitat. Les línies d'anotació són:

- glossa
- límit d'oració en DGS
- correlació entre oració en alemany i oració en DGS
- límit d'oració en alemany
- etiqueta de la glossa (en 45 vídeos)
- localització espacial (en 20 vídeos)

De cara a l'aplicació en un sistema de traducció automàtica estadística, el domini restringit constitueix el principal avantatge d'aquest corpus. Això limita el vocabulari i les estructures gramaticals que podem trobar, amb la qual cosa es facilita l'entrenament del traductor.

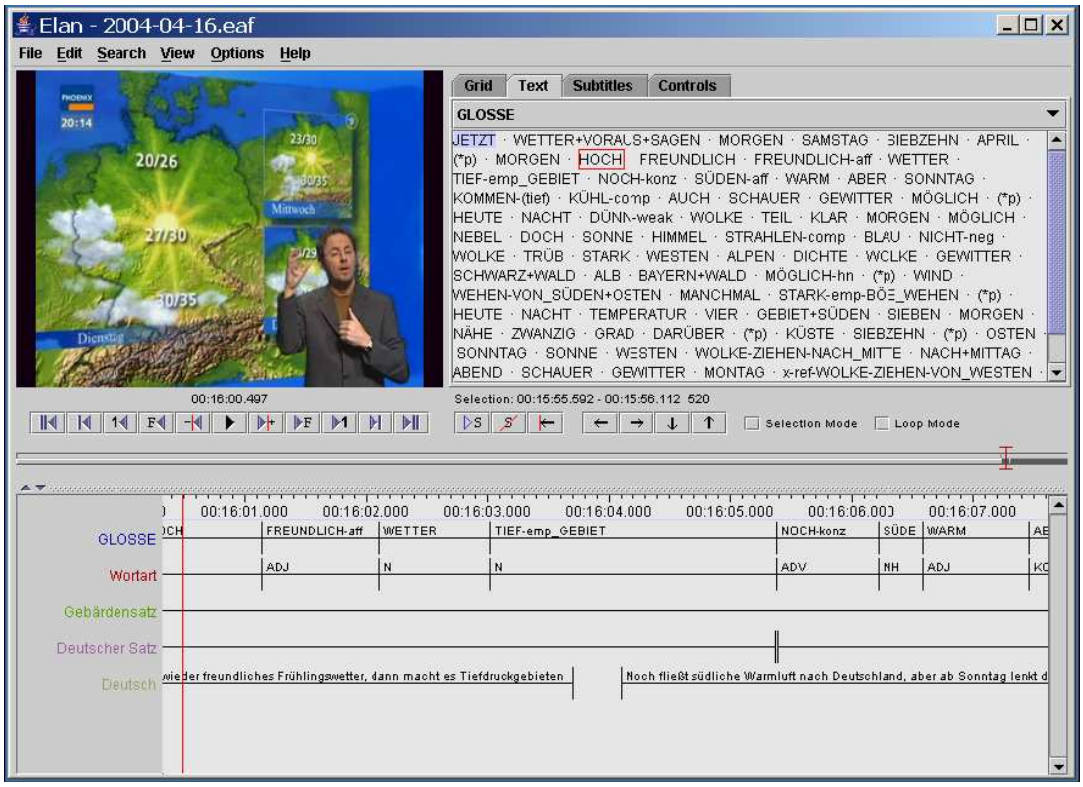

Figura 5.7: Anotació del corpus Phoenix amb l'eina ELAN. Extret de Bungeroth et al. (2006).

6 SISTEMES DE TRADUCCIÓ AUTOMÀTICA

Quan analitzem els traductors automàtics desenvolupats per a les llengües de signes, ens adonem que el plantejament general dels sistemes no varia respecte als de les llengües orals: traducció directa, per transferència o amb *interlingua*; sistemes per regles, estadístics o basats en exemples; traductors unidireccionals o bidireccionals, etc. Les diferències en les arquitectures dels sistemes les marquen la naturalesa visual de la comunicació en la llengua de signes i la manca d'un sistema d'escriptura estandarditzat. En el primer cas, la solució passa per la incorporació dels sistemes de reconeixement i síntesi vistos en els apartats 2 i 3. Els problemes d'escriptura es poden resoldre amb la codificació de les dades lingüístiques que hem presentat en els apartats 4 i 5.

El caràcter visual i gestual de les llengües de signes també estableix diferències metodològiques en el processament lingüístic. Les majors dificultats amb les quals ens enfrontem són el tractament de l'espai amb valor gramatical i la simultaneïtat de trets. Per aquest motiu, la gramàtica de la llengua de signes no pot ser ignorada durant la traducció. Així doncs, els sistemes que tradueixen de paraula a signe mantenint la morfologia i la sintaxi de la llengua oral difícilment es poden considerar traductors cap a llengua de signes –en aquest cas estem parlant d'una llengua oral signada (anglès signat, espanyol signat, etc.). Alguns dels fenòmens gramaticals als quals ha de fer front un sistema de traducció per a llengua de signes, i que suposen una dificultat afegida respecte al processament de llengua oral, són el tractament de classificadors, verbs direccionals, expressions coreferents i trets no manuals.

Els classificadors són configuracions manuals que formen un grup tancat i es basen en unes característiques concretes d'un referent: classe semàntica (persona, animal, vehicle de dues rodes...), forma (quadrat, rodó...), manipulació (agafar una maleta, obrir un calaix...), etc. El referent pot haver estat introduït prèviament en el discurs o es pot inferir del context. Si la configuració té la funció de concordar amb el referent, els altres paràmetres del signe (localització, moviment, orientació) representen el moviment d'una acció, una posició, una escena, o altres situacions de caràcter dinàmic o descriptiu. En conjunt, el signe representa un predicat complet. En llengua de signes catalana, per exemple, podem expressar l'oració *la moto va girar a l'esquerra* amb un predicat classificador: primer introduïm el referent amb el signe MOTOCICLETA (amb els puny estesos, com si agaféssim un manillar, i flexionant el canell dret, imitant l'acció de donar gas), després adoptem la configuració del classificador per a vehicles de dues rodes (l'índex i el dit petit estesos i assenyalant cap avall) i descrivim el moviment amb un arc horitzontal cap a l'esquerra. Els predicats classificadors són signes complexos i molt variables, però molt importants en l'expressió de les llengües de signes.

Els verbs direccionals utilitzen l'espai per a concordar amb el subjecte i l'objecte, que es situen en localitzacions diferents. La configuració de la mà no canvia, és la que caracteritza el verb, però la direcció del moviment pot anar del signant al receptor, del receptor al signant, d'un referent situat anteriorment en el discurs a la dreta a un altre situat a l'esquerra, etc. Tant en aquest cas com en el d'expressions coreferents,

en què s'assenyala la posició que ocupa un referent virtual, és necessari codificar l'espai i ubicar els referents del discurs en les posicions respectives.

L'expressió facial és la gran assignatura pendent de la majoria de sistemes, que se solen concentrar en els trets manuals. Hi ha trets no manuals que formen part obligatòriament de la forma lèxica d'alguns signes. D'altres són morfemes que s'uneixen a diversos signes i els modifiquen, com pot ser el cas d'alguns adverbis. També n'hi ha amb funcions sintàctiques i discursives: els que marquen la interrogació o la tematització, per exemple. En definitiva, un sistema de traducció que deixi al marge els trets no manuals no podrà tractar de manera adequada una gran part de la informació lingüística.

A continuació analitzarem diversos treballs sobre traducció automàtica per a llengües de signes. Cada cop hi ha més investigadors interessats en aquest camp, de manera que podem trobar una representació prou variada, amb diversos enfocaments i llengües d'arreu del món. La majoria de sistemes se centren en un sol sentit de la traducció, i sol ser de la llengua oral a la de signes. Davant la manca de textos escrits en llengua de signes, l'entrada d'un traductor cap a la llengua oral ha d'integrar gairebé per força el reconeixement dels signes. Però, si el reconeixement de la parla ja és complex, el dels signes, on s'ha començat a investigar recentment, presenta encara més reptes. D'altra banda, sembla que la traducció de llengua oral a llengua de signes tingui més utilitat pública, ja que facilita l'accés de les persones sordes a bona part de la informació, la presentació de la qual no sol tenir en compte les seves dificultats. De tota manera, i per la manca d'un estàndard escrit per a les llengües de signes, sí que és interessant que els traductors incorporin un sistema de síntesi de la imatge. A més, les dificultats de la síntesi sempre són menors que les del reconeixement. En canvi, pel que fa al tractament de la parla, se'n pot prescindir perfectament quan es preveu que l'entrada o la sortida per a la llengua oral sigui un text escrit. Això redueix la complexitat del sistema i evita que els errors de la part de parla afectin la traducció.

Entre els treballs que veurem, n'hi ha que donen més importància al tractament de la imatge i n'hi ha d'altres que desenvolupen principalment la part de traducció. És aquí, en els mòduls de traducció, on podem veure els plantejaments adoptats i les diferències més interessants. Els sistemes de traducció directa difícilment poden resoldre les qüestions més complexes de les llengües de signes. D'altra banda, la creació d'una *interlingua* pot ser una bona solució però la implementació no és senzilla i sol restringir l'àmbit d'aplicació. Per tant, la majoria dels sistemes apliquen la traducció per transferència. Un altre aspecte destacable es deriva de l'escassetat de dades en les llengües de signes: les aproximacions estadístiques i basades en exemples es veuen molt limitades, amb la qual cosa l'opció més viable són els traductors basats en regles. Però, a mesura que augmenti la disponibilitat de corpus en llengües de signes, els enfocaments estadístics podran guanyar importància i caldrà explorar aquesta via. Per últim, sempre serà interessant considerar tot el ventall de possibles combinacions en sistemes híbrids que poden aprofitar els avantatges de les diverses aproximacions.

6.1 Traducció directa de japonès a llengua de signes japonesa

El sistema presentat per Kamata et al. (1989) representa l'opció més bàsica en traducció automàtica: un diccionari amb unes 250 entrades estableix la relació directa entre les paraules en japonès i les de la llengua de signes japonesa. El resultat, doncs, no és en llengua de signes, sinó en japonès signat –o llengua de signes japonesa simultània–, amb l'estructura i la gramàtica de la llengua oral.

El procés de traducció comença amb el text d'entrada escrit en caràcters *kanji* i *kana*, del qual s'extrauen els numerals i quantificadors que es representen conjuntament amb un signe. A continuació, un diccionari d'anàlisi amb les diferents categories gramaticals extreu les unitats que corresponen a entrades del diccionari de traducció, les quals poden contenir més d'una paraula japonesa. Cada unitat d'entrada del diccionari de traducció es relaciona amb un signe o una seqüència de signes. En el cas que una paraula tingui diverses funcions gramaticals, la paraula precedent determina quina és la correcta. El sistema no resol, però, l'ambigüitat derivada de la polisèmia: cada entrada té una única representació semàntica i cal utilitzar expressions alternatives per als altres significats. El diccionari de traducció dóna com a resultat un text amb la representació dels signes equivalents a les paraules de la llengua oral. Aquest representació es fa mitjançant paraules japoneses, semblant a una transcripció per glosses: els autors deixen com a treball futur l'animació d'imatges.

6.2 HST: combinació de signes i dactilologia

El prototip Hand Sign Translator (HST) (Holden & Roy, 1992) respon al mateix plantejament: d'un text en anglès s'obté la correspondència en anglès signat mitjançant un diccionari. Tanmateix, aquí es fa un pas més incorporant-hi una animació. La base de dades del diccionari conté unes 120 entrades, entre paraules i lletres –utilitza l'alfabet dactilològic australià–, i els signes corresponents amb la informació útil per al procés d'animació. El conjunt de dades que caracteritzen un signe és anomenat POSE. Un editor propi, que restringeix els moviments possibles, permet modificar les POSE dels signes existents o crear-ne de nous. El diccionari té un índex que relaciona cada signe amb les POSE corresponents.

El tractament de les paraules del text d'entrada depèn de si es pot analitzar com un signe del diccionari o no. En els signes unitaris –associats a arrels lèxiques–, la POSE és emmagatzemada directament. Les paraules compostes per una arrel més sufixos o prefixos es troben definides explícitament com la seqüència de POSE de l'arrel i el lletreig en l'alfabet dactilològic de l'afix: així, *achievement* és la suma de les POSE d'*achieve+m+e+n+t*. Si una paraula no es troba al diccionari ni es pot descompondre en una arrel més afixos, cada lletra és interpretada amb l'alfabet dactilològic. La cadena de POSE constitueix aleshores l'entrada del procés d'animació de l'esquelet amb dues mans. En un primer pas, les dades associades a les POSE serveixen per a calcular la posició en 3D de l'esquelet i les interpolacions entre posicions, de manera que el resultat segueixi un moviment continu. A continuació es modela l'esquelet per tal d'aconseguir una aparença més real i cada posició es

transforma en una configuració de les mans. L'últim pas és la renderització de la imatge.

Els autors deixen com a treball futur la modificació de la velocitat per a cada signe individual, la implementació de les altres parts del tronc superior, els braços i l'expressió facial, i la possibilitat de crear un sistema de traducció bidireccional amb reconeixement de la llengua de signes. No diuen res, en canvi, sobre la incorporació d'un motor de traducció que permeti la traducció real a llengua de signes, quan el resultat del sistema que proposen, amb combinació de signes i dactilologia seguint la gramàtica de la llengua oral, pot ser bastant incomprensible.

6.3 Sistema de transferència per a l'anglès i la llengua de signes americana

Lee i Kunii (1992) proposen un sistema de transferència per a la traducció d'anglès a llengua de signes americana (ASL): aquí ja es té en compte la gramàtica de la llengua de signes. L'arquitectura del sistema és composta per un analitzador, el motor de transferència, un sintetitzador lingüístic i un sintetitzador visual. Als tres primers van associats diccionaris i gramàtiques, l'últim compta amb un lexicó de signes.

L'analitzador morfològic i sintàctic té com a objectiu la resolució de les ambigüitats del text anglès. Els arbres sintàctics resultants passen al motor de transferència, on les regles de transformació generen les estructures en ASL. Els autors assenyales alguns aspectes tractats amb regles: l'ordre de noms i adjectius, la incorporació d'adverbis en els signes d'adjectius, l'eliminació de paraules innecessàries i l'equivalència d'expressions idiomàtiques. El sintetitzador lingüístic s'encarrega de construir les seqüències correctes de signes que constitueixen el resultat final del processament lingüístic. Això inclou l'afix de la marca de persona en les ocupacions i les nacionalitats, el tractament de signes que incorporen una inicial com a configuració diferenciadora i l'establiment de les referències temporals. L'últim pas és la generació de l'animació amb el sintetitzador d'imatge, el qual es basa en el sistema gràfic HAND. Aquest sistema tampoc tracta els paràmetres no manuals: els deixa per a implementacions futures.

6.4 Traductor bidireccional per a la llengua de signes japonesa

El sistema d'Ohki et al. (1994) és un traductor bidireccional entre japonès i llengua de signes japonesa, amb un subsistema per a cada direcció de traducció. El subsistema llengua de signes - japonès integra un reconeixedor de gestos a partir de les dades que li arriben d'un guant DataGlove. Un dels problemes de DataGlove és la gran quantitat de dades enviades per segon, la qual cosa dificulta el reconeixement en temps real. Per tal d'evitar-ho, els autors extreuen els trets dels patrons dinàmics corresponents a la posició en la velocitat mínima i la posició quan el canvi en la direcció excedeix un cert límit. D'aquesta manera, aconsegueixen reduir considerablement el temps de reconeixement amb una mínima disminució en el percentatge de resultats correctes. Aquest mètode ha estat aplicat en dos mòduls de traducció: un per a oracions continues però molt simples i amb un vocabulari de només disset paraules, i un altre per a signes individuals amb un vocabulari de cent paraules.

El subsistema japonès - llengua de signes compta amb una aplicació de síntesi d'imatge. Les dades necessàries per a l'animació dels gràfics tridimensionals s'han enregistrat amb DataGlove, amb la qual cosa s'obtenen uns moviments més naturals. La concatenació entre signes s'aconsegueix per interpolació automàtica de l'animació. Aquest subsistema pot traduir només oracions molt senzilles.

Els autors han construït un prototip de màquina expenedora de targetes de residents amb onze oracions en llengua de signes japonesa. Encara que els resultats són en últim terme comprensibles, alguns són difícils d'entendre i caldria perfeccionar el sistema d'animació i l'expressió facial. També és millorable la part de traducció, ja que no és capaç de traduir oracions japoneses complexes. A banda d'això, els autors marquen com a treball futur l'augment de la velocitat de reconeixement en vocabularis extensos.

6.5 ZARDOZ: interlingua basada en el coneixement

ZARDOZ (Veale & Collins, 1996; Veale et al., 1998; Huenerfauth, 2003) és un sistema d'*interlingua* concebut per a poder traduir des de llengües orals, principalment l'anglès, cap a ha 'encara que només s– diverses llengües de signes també està pensat per a les llengües de signes irlandesa i ,ASL'implementat per a l La representació del coneixement i el raonament metafòric són els centres .japonesa ueix en una arquitectura complexa que divideix elAixò es trad .interès del sistema'd :procés en els següents passos

- anàlisi lèxica per al reconeixement i representació de paraules compostes,
- reducció idiomàtica,
- anàlisi sintacticosemàntica amb una gramàtica d'unificació,
- representació en el format de la *interlingua*,
- esquematització de les estructures metafòriques i metonímiques específiques de la llengua origen (amb aquest pas s'obté l'autèntica representació en la *interlingua*),
- anàlisi del discurs amb resolució d'anàfores,
- generació de les estructures sintàctiques en la llengua de signes amb l'organització espacial adient,
- assignació dels signes als conceptes corresponents,
- animació amb un programa en Doll Control Language (DCL).

Aquest sistema està fortament basat en el coneixement. El text d'entrada ha de trobar els esquemes definitoris dels tipus d'esdeveniment adients; i quan això no és possible, es tradueix literalment paraula per paraula. D'aquesta manera s'intenta resoldre el problema d'interpretació de les metàfores i metonímies i representar correctament l'ús gramatical de l'espai del signant. El principal inconvenient es troba en les limitacions de la codificació manual dels esquemes conceptuals: si es vol aconseguir un abast ampli, la quantitat d'informació que cal introduir-hi es multiplica de manera exagerada, amb la qual cosa només és aplicable en àmbits restringits.

6.6 SYUWAN: substitució dels mots d'entrada

El prototip SYUWAN (Tokuda & Okumura, 1998) es basa en un diccionari japonès per a la llengua d'origen i un diccionari en llengua de signes japonesa per a la llengua de destí. Aquest últim conté 3.162 entrades, bastants menys que les 400.000 del diccionari japonès. Per tal de compensar aquesta diferència, els autors proposen substituir les paraules del text d'entrada que no es trobin al diccionari de la llengua de signes per altres de japoneses equivalents. En la descripció de la llengua de signes, fan servir el Sign Language Description Method (SLDM): cada expressió en llengua de signes té associada de manera unívoca una etiqueta amb paraules japoneses i alguns caràcters simbòlics.

El procés de traducció té quatre passos: anàlisi morfològica del japonès i eliminació de paraules innecessàries, aplicació de les regles de traducció i traducció directa a la llengua de signes, traducció a la llengua de signes utilitzant paraules similars quan no és possible la traducció directa, i traducció amb dactilologia de la resta de noms. En el segon pas, les regles es limiten a les expressions de dates i a la flexió de terminacions, no generen autèntiques estructures en la llengua de signes japonesa. El resultat és una traducció directa que no té en compte la gramàtica de la llengua de signes. Pel que fa a la substitució de paraules japoneses per altres d'equivalents, es poden aplicar tres mètodes. El primer consisteix en utilitzar uns identificadors de conceptes inclosos en cada entrada del diccionari japonès: el sistema buscarà entre totes les paraules que comparteixen l'indicador (p.e. 'refectori', 'menjador', 'bufet', 'restaurant') la que es trobi al diccionari de la llengua de signes. El segon mètode extrau informació de les definicions, la processa morfològicament i dóna com a resultat una paràfrasi basada en paraules del diccionari de signes. L'última opció es basa en un diccionari de conceptes en el qual hi ha 510.000 identificadors de conceptes connectats jeràrquicament: la paraula és substituïda pel concepte immediatament superior (p.e. 'verat' per 'peix').

Els errors detectats en la part experimental són deguts principalment a la substitució de paraules a causa de definicions poc adients o excessivament llargues en el diccionari japonès. Alguns dels problemes es podrien resoldre fàcilment afegint paraules al diccionari de signes. Com a treball futur, s'assenyala la resolució de la ambigüitat semàntica i la incorporació de la gramàtica de la llengua de signes, a més de la millora dels resultats finals del sistema.

6.7 Dos sistemes de comunicació amb traducció entre llengües de signes

Mentre la major part dels sistemes es preocupen de traduir entre llengües orals i llengües de signes, Aoki et al. (1998) i Kim et al. (2004) introdueixen la traducció entre llengües de signes diferents en els seus sistemes de comunicació. Aquests treballs centren l'interès en la codificació de les dades de la llengua de signes per a una transmissió ràpida i eficaç i en l'animació final dels avatars, però també incorporen un sistema de traducció que permet la comunicació entre signants de diferents llengües.

Aoki et al. (1998) aprofiten la semblança en l'ordre sintàctic de les llengües de signes japonesa i coreana per substituir directament les imatges dels signes en cada paraula. Segons els autors, els intents de traducció entre les llengües de signes japonesa i portuguesa només han estat satisfactoris quan els gestos són semblants en les dues llengües: en els altres casos és necessari l'ús de diccionaris.

Kim et al. (2004) també tradueixen entre les llengües de signes japonesa i coreana. Cada llengua compta amb un diccionari amb les paraules, els paràmetres d'acció que defineixen els signes i indicadors que apunten cap a l'entrada corresponent en el diccionari de l'altra llengua. Aquí també s'aprofita la semblança sintàctica per fer una traducció linear, però a l'hora de traduir entre les dues llengües anteriors i la llengua de signes xinesa han d'adoptar un altre mètode. En aquest cas, utilitzen regles de transferència de les estructures sintàctiques.

6.8 Traducció estadística amb reconeixement de la llengua de signes alemanya

Bauer et al. (1999) han desenvolupat un traductor automàtic de la llengua de signes alemanya amb dos components: una eina de reconeixement de la llengua de signes alemanya basat en la visió i una eina de traducció estadística de seqüències de signes a text. El sistema de reconeixement s'ha entrenat amb un lèxic de cent signes i és dependent del signant. Les imatges són enregistrades amb una única càmera en color i contenen seqüències contínues de signes, amb pauses entre oracions. El reconeixement, basat en models de Markov ocults, es limita als paràmetres manuals. La cadena de signes classificats passa al traductor estadístic, el qual compta amb un model de traducció, compost per un lèxic i un model d'alineament, i un model de llenguatge. Les probabilitats han estat extretes d'un corpus paral·lel.

Aquest treball se centra principalment en la part de reconeixement. Els resultats experimentals són bastant alts però es limiten a un grup reduït de signes. No tenen, en canvi, resultat sobre el procés de traducció.

6.9 La transcripció de Newkirk en la traducció a la llengua de signes americana

Grieve-Smith (1999) presenta un prototip de traductor de l'anglès a la llengua de signes americana (ASL) que vol evitar els problemes derivats de la síntesi d'imatge. Per aquest motiu, la traducció es fa de text a text i opta pel sistema Literal Orthography (o SignFont) de Newkirk (v. § 4.9) a l'hora de transcriure la llengua de signes. Per tal de restringir l'abast de la traducció, es limita a informes meteorològics del National Weather Service.

El sistema consta de quatre components: analitzador lèxic, analitzador sintàctic, mòdul de transferència i mòdul de generació. Tant en l'analitzador lèxic com en el sintàctic s'han aprofitat mòduls gratuïts en Perl d'altres autors. Com que els textos d'entrada són bastant sintètics i el vocabulari és específic, l'anàlisi no és excessivament complexa. Això permet tenir unes estructures en arbre associades a cada domini dels informes meteorològics (cel, precipitacions, vent i temperatures) amb uns camps que l'analitzador s'encarrega d'omplir. La transferència es limita a traduir els camps d'aquesta estructura. En el procés de generació, per a cada tipus

d'informació hi ha unes oracions prototípiques. Mitjançant una gramàtica, es combinen amb el contingut que ha sortit del mòdul de transferència i s'obtenen els textos amb les oracions en ASL.

La comprovació de la llegibilitat i correcció del text en ASL es deixa com a treball futur, amb la qual cosa no es poden fer judicis sobre la qualitat dels resultats. L'autor també assenyala la necessitat d'ajustar els analitzadors a l'àmbit de la informació meteorològica.

6.10 TEAM: traducció amb informació visual i espacial

El projecte TEAM (Zhao et al., 2000; Huenerfauth, 2003) afronta la incorporació d'informació aspectual i adverbial durant la traducció a la llengua de signes americana. Després de l'anàlisi del text anglès, es genera una representació intermèdia amb una gramàtica STAG (Synchronous Tree Adjoining Grammar) que ja estableix l'ordre correcte dels signes. Aquests es representen mitjançant glosses i uns paràmetres addicionals amb la informació morfològica i gramatical. El pas següent és la interpretació de la representació intermèdia com a representació de moviments. D'això s'encarrega el sintetitzador de signes: les glosses serveixen com a índex per localitzar els paràmetres de moviment de cada model de signe emmagatzemats en un diccionari; a continuació, s'utilitzen els paràmetres addicionals per modificar els moviments del model, amb la qual cosa s'hi incorpora la informació morfològica i gramatical. El sintetitzador calcula les transicions entre signes amb PaT-Nets (Parallel Transition Networks) i genera l'animació final amb l'avatar comercial Jack Toolkit (v. § 3.11).

A TEAM es tenen en compte alguns fenòmens de la morfologia flexiva en què es modifiquen els paràmetres articulatoris dels signes: aspecte temporal (*sovint*, *a poc a poc*, *de pressa*), flexió de manera (*amb compte*, *desordenadament*) i flexió de grau (*molt*, *poc*). En la morfologia derivativa, se centra en els parells de noms i verbs que comparteixen les característiques fonològiques i el contingut semàntic, però que poden presentar variacions en la freqüència, la velocitat, la direcció, etc. Per la seva banda, la gramàtica STAG fa les funcions de les regles de transferència en la traducció a la llengua de signes i s'encarrega de generar les estructures correctes en casos de focalització, construccions predicatives, negacions, verbs direccionals, incorporació d'adverbis o oracions interrogatives, imperatives i condicionals.

Els autors destaquen l'interès d'aplicar en un futur la informació visual i espacial tractada a TEAM en un sistema de reconeixement i anàlisi de la llengua de signes americana. Amb això es podria desenvolupar un traductor bidireccional que permetria la interacció en temps real entre signants i parlants.

6.11 ViSiCAST i la representació de l'estructura del discurs

El projecte europeu ViSiCAST[28] (Bangham et al., 2000) té com a objectiu afavorir l'accessibilitat de les persones sordes a diferents serveis i mitjans de comunicació.

28 http://www.visicast.sys.uea.ac.uk/

Una de les eines que ho ha de permetre, i que és la que analitzarem a continuació, és un sistema de traducció per al servei postal britànic (Sáfár & Marshall, 2001; Marshall & Sáfár, 2003; Huenerfauth, 2003). En principi, havia estat pensat per traduir d'anglès a diverses llengües de signes, però només ha estat implementat per a la britànica. Una de les principals característiques és l'alt grau d'intervenció de l'usuari durant la traducció, que consta de quatre passos: anàlisi sintàctica del text anglès, representació semàntica de l'estructura del discurs, transferència de les representacions semàntiques a les de la llengua de signes i generació de les oracions de la llengua de signes. A això cal afegir un pas previ de preprocessament del text d'entrada i un procés final d'animació d'un avatar.

En el preprocessament, l'usuari pot modificar les construccions del text original que no puguin ser tractades pel sistema. També pot intervenir en l'anàlisi sintàctica corregint les etiquetes assignades i triant entre possibles arbres d'anàlisi. La representació semàntica es basa en una DRS (Discourse Representation Structure): els fenòmens lingüístics (les proposicions) es descomponen en unitats de significat atòmiques (els seus arguments). Això permet representar el temps, l'aspecte i les connexions anafòriques, a més d'afegir-hi restriccions que poden ser importants en la llengua de destí, com les de tòpic o focus. En aquest estadi també hi pot intervenir l'usuari per a la desambiguació semàntica i la determinació d'expressions coreferents. A partir de la representació semàntica es generen les oracions de la llengua de signes amb una gramàtica HPSG (Head-Driven Phrase Structure Grammar) i un lexicó: el nombre i tipus d'arguments de la DRS anglesa es transformen per adaptar-se a la DRS de la llengua de signes. Un altre cop l'usuari pot editar el resultat i modificar-lo. En acabar tot el procés de traducció tenim un text en la notació HamNoSys en format SiGML (v. § 4.3) que serveix d'entrada per a l'animació de l'avatar.

L'aspecte més destacable del sistema és la representació semàntica i d'estructura del discurs. La DRS facilita el tractament d'expressions coreferents i la transferència de les estructures a la llengua de signes. Com a mancances, Marshall i Sáfár (2003) destaquen l'absència dels components no manuals dels signes.

6.12 TESSA: un discurs altament dirigit

El sistema de traducció TESSA (Cox et al., 2003; Wray et al., 2004) també s'emmarca dins del projecte ViSiCAST (v. § 6.11) i té les mateixes aplicacions que el sistema anterior: el servei postal britànic. Tanmateix, es diferencia pel discurs restringit adaptat al context: hi ha uns 500 missatges prototípics entre els quals el sistema tria el que considera més relacionat amb les intencions del parlant. Aquesta solució és vàlida quan les possibilitats del diàleg són limitades, com és el cas de les transaccions fetes en una oficina de correus. El procés de traducció comença amb el reconeixement de la parla de l'empleat. El sistema selecciona els possibles missatges d'entre tots els que té emmagatzemats i els presenta en pantalla per ordre de probabilitat. Aleshores, l'empleat confirma l'opció correcta i la traducció a la llengua de signes és generada en una pantalla que pot veure el client.

Les restriccions de TESSA permeten un major control sobre les traduccions però limiten en gran mesura el discurs. Totes les possibilitats han de ser previstes i els usuaris han d'adaptar-se a les directrius del sistema.

6.13 ASL Workbench: model Movement-Hold i Gramàtica Lexicofuncional

ASL Workbench (Speers, 2001; Huenerfauth, 2003) és un sistema de transferència de l'anglès a la llengua de signes americana. Admet la intervenció de l'usuari quan el sistema no pot determinar la solució correcta o si es vol canviar l'estratègia de traducció. Com a trets característics cal destacar la incorporació d'una LFG (Lexical-Functional Grammar) i la representació dels signes basada en el model seqüencial Movement-Hold (v. § 4.5).

El text d'entrada s'analitza amb l'LFG fins a un grau de profunditat considerable. L'estructura funcional (estructura-f) que s'obté constitueix una representació prou abstracta i independent de la sintaxi de l'anglès. Els avantatges d'aquest enfocament són diversos: d'una banda, es simplifiquen les regles de transferència de l'estructura-f anglesa a l'estructura-f dels signes; de l'altra, la generació de la llengua de signes a partir de la seva estructura-f guanya en flexibilitat i no es troba condicionada per la sintaxi de la llengua oral.

La descripció fonològica dels signes amb el model Movement-Hold és molt acurada. Les formes bàsiques tenen trets subespecificats que es completen en la generació de la llengua de signes segons la informació morfològica i gramatical disponible. Totes les expressions manuals i no manuals poden ser representades.

L'alt nivell de detall en la descripció fonològica és una de les majors virtuts però també el principal inconvenient: la construcció del lexicó de generació que especifiqui tots els trets per als diversos fenòmens sintàctics i morfològics és una tasca ingent.

6.14 THETOS: traducció a la llengua de signes polonesa

El prototip THETOS[29] (o TGT-1) (Suszczanska & Szmal, 2001; Francik & Fabian, 2002) consta de dues parts ben diferenciades per traduir del polonès a la llengua de signes polonesa: l'anàlisi lingüística i la síntesi d'imatge. La primera genera un arxiu amb la representació simbòlica de la llengua de signes en la notació Szczepankowski (v. § 4.7) que servirà d'entrada al procés d'animació d'un avatar del tipus OpenGL.

L'anàlisi lingüística comença amb l'anàlisi morfològica i sintàctica del text d'entrada. El resultat és sotmès a una revisió automàtica addicional complementada per informació semàntica. D'això s'encarreguen diccionaris especialitzats i s'eliminen fins on és possible les ambigüitats. El resultat, en forma de seqüència dels constituents sintàctics, passa una anàlisi semàntica preliminar, en la qual s'obté un gràfic de l'estructura semàntica amb el predicat de l'oració com a arrel. Una altra anàlisi té com a objectiu definir l'estructura predicativa de la llengua de destí amb les

29 http://sun.iinf.polsl.gliwice.pl/sign-pl/main.html

dades complementades per subjectes o verbs deduïbles. A partir de la representació predicativa, es genera l'estructura sintàctica en dos passos: la creació d'una seqüència de constituents sintàctics i el desenvolupament de cada constituent en una seqüència de lexemes.

Com a punts febles, els autors han detectat problemes en la verificació dels resultats de les anàlisis morfològica i sintàctica i en la resolució d'ambigüitats. En la part d'animació, les mancances d'informació en la notació de la llengua de signes també genera problemes. L'avatar té uns gràfics molt simples i no compta amb expressió facial.

6.15 SASL-MT i l'estudi de la llengua de signes sud-africana

El desenvolupament del projecte South African Sign Language Machine Translation (SASL-MT)[30] (van Zijl, 2006) va acompanyat de l'estudi lingüístic de la llengua de signes sud-africana, de la qual no hi havia informació publicada anteriorment. El grup de recerca ha recopilat i transcrit dades de la SASL per a l'elaboració d'eines i materials lingüístics. La descripció de la llengua de signes emprada es basa principalment en el model Movement-Hold (v. § 4.5).

Pel que fa al traductor, s'han volgut aprofitar recursos existents per tal de reduir el temps de desenvolupament. En aquest sentit, s'ha adaptat la gramàtica STAG del sistema TEAM (v. § 6.10) a la traducció d'anglès a SASL. Les regles de transferència dels arbres sintàctics d'una llengua a l'altra han estat construïdes a mà basant-se en oracions prototípiques. Un algoritme de resolució de pronoms en el text anglès s'encarrega d'associar cada pronom amb l'antecedent corresponent, de manera que les expressions coreferents es puguin ubicar correctament en l'espai gramatical.

Un altre focus d'interès del projecte són els paràmetres no manuals. L'anàlisi prosòdica del text d'entrada permet transferir la informació expressiva i entonativa a l'arbre sintàctic de la llengua de signes. L'avatar del sistema, en H-Anim, està especialment dissenyat per poder expressar aquesta informació.

SALS-MT es troba encara en fase de desenvolupament: els diversos mòduls funcionen per separat, però falta combinar-los. Quan aquesta tasca s'hagi completat, es podrà comprovar el funcionament del sistema integrat.

6.16 Blue Sign Translator: sistema portàtil per a la llengua de signes italiana

El Blue Sign Translator[31] (Bartolini et al., 2006) és presentat com un sistema de traducció a la llengua de signes italiana (LIS) per a PDA. L'usuari pot rebre missatges SMS i veure'n l'animació en llengua de signes mitjançant un avatar que no requereix càlculs computacionals pesants. La codificació dels signes és una evolució de la transcripció del *Dizionario bilingue elementare della lingua italiana dei segni* de Radutzky. El prototip té una base de dades amb les associacions entre paraules, lletres, parts d'oracions i signes en LIS. Malauradament, en la documentació

30 http://www.cs.sun.ac.za/~lynette/SASL/
31 http://bluesign.dii.unisi.it/

disponible no s'ofereixen gaires dades sobre el procés de traducció de la llengua oral a la de signes. De moment, sembla que l'usuari ha de cercar les paraules o les parts d'oracions a la base de dades i activar l'animació.

6.17 Traducció estadística d'alemany a la llengua de signes alemanya

Bungeroth i Ney (2004) proposen un sistema de traducció estadística de l'alemany a la llengua de signes alemanya (DGS) entrenat amb un corpus del grup DESIRE de la Universitat d'Aachen. El problema amb què s'enfronten aquests tipus de sistemes és la manca de corpus prou extensos en llengües de signes i la inconsistència dels sistemes de notació emprats. De fet, el corpus de DESIRE conté 1399 parells d'oracions en alemany i DGS, transcrita amb glosses, i tal com es troba definit no és apte per a l'entrenament d'un sistema de traducció. Per aquest motiu, els autors han hagut de reduir el nombre de paraules de freqüència 1, canviar la codificació dels paràmetres no manuals i eliminar algunes informacions de concordança en l'espai del signant. Al final, s'han pogut fer les primeres proves amb un corpus de 200 oracions: 167 per a l'entrenament i 33 per als tests.

Els resultats obtinguts són millorables però serveixen com a primera aproximació al problema de la traducció estadística en llengua de signes. Per a un sistema complet, els autors assenyalen la necessitat de construir un corpus més adient i incorporar informació lingüística al procés de traducció.

6.18 SYNENNOESE: plataforma educativa per a la llengua de signes grega

L'objectiu del projecte SYNENNOESE[32] (Fotinea et al., 2005) és la construcció d'una plataforma per a la creació i presentació de material didàctic en llengua de signes grega. Una eina de traducció automàtica facilitaria l'adaptació a la llengua de signes del contingut dels llibres de text escrits en grec. Aquesta eina és composta per un analitzador estadístic del grec, un mòdul de transferència a les estructures de la llengua de signes i un sistema de síntesi amb animació VRML.

L'anàlisi del text d'entrada és superficial però, encara que és estadística, té en compte la informació lingüística de les etiquetes morfològiques de les paraules. El resultat, en forma d'unitats sintàctiques estructurades, conté les anotacions morfosintàctiques al nivell de les paraules i les anotacions estructurals al nivell dels sintagmes. Unes regles de transferència creen les estructures equivalents en la llengua de signes a partir d'aquesta informació. El mòdul de síntesi pren aquestes estructures com a entrada i genera l'animació amb l'ajuda d'un lexicó i d'una gramàtica de la llengua de signes grega. Les anotacions associades a les paraules es contrasten amb el contingut del lexicó, en el qual es descriuen els paràmetres fonològics dels lemes amb el sistema de transcripció HamNoSys (v. § 4.3). D'aquí s'obtenen els trets articulatoris que definiran cada signe. La gramàtica, que conté les regles per a la generació de les seqüències ordenades de signes, pren en consideració les anotacions estructurals dels sintagmes. En tots dos casos es té en compte la informació associada als paràmetres

32 http://www.ilsp.gr/synennoisi_eng.html

no manuals, els quals han de jugar un paper destacat en l'expressió correcta de les oracions de la llengua de signes.

Tal com diuen Fotinea et al. (2005), el major repte és desenvolupar un traductor que no tingui restriccions en els textos d'entrada. SYNENNOESE en té, encara que l'anàlisi superficial del grec pretén simplificar el resultat per poder aplicar el sistema a contextos lingüístics diferents. A banda d'això, el seu principal interès se centra en l'expressió dels components no manuals durant la generació de l'animació.

6.19 Sistema híbrid per al tractament dels classificadors

Huenerfauth (2004) proposa la combinació de la traducció directa, les regles de transferència i la *interlingua* en la traducció de l'anglès a la llengua de signes americana; d'aquesta manera, aprofita els avantatges de cada metodologia. En principi, el sistema adoptaria l'enfocament més complex (la *interlingua*) i, quan no pogués fer front a la traducció, passaria la tasca al mètode immediatament inferior. Cal destacar que, com més complex sigui l'enfocament, més restringit i especialitzat serà el camp d'aplicació, amb la qual cosa els recursos necessaris es poden delimitar amb precisió i s'evita que l'arquitectura del sistema creixi desmesuradament.

L'aspecte més interessant és l'especialització de la *interlingua* en el tractament dels classificadors, els quals són difícils de resoldre amb els altres enfocaments. Segons l'autor, és possible identificar les oracions que requereixin l'ús de classificadors en la traducció pels verbs espacials que descriuen localitzacions, orientacions o moviments, per preposicions amb valor espacials o adverbis que modifiquen entitats concretes o animades, o per unitats lèxiques a les qual se solen associar classificadors. L'anàlisi del text anglès permet identificar les entitats i els moviments i es crea un model virtual en tres dimensions de l'escena, a partir del qual es genera l'animació. En la creació i modificació d'aquests models s'utilitza el sistema Natural Language Instructions for Dynamically Altering Agent Behaviors (NLI). Els models virtuals fan la funció d'*interlingua*, ja que serveixen com a representació semàntica dels classificadors, encara que el seu disseny difereixi de les representacions interlingüístiques habituals en traducció automàtica.

Aquest sistema és una proposta de la qual encara s'estan estudiant aspectes relacionats amb la generació dels classificadors, les representacions sintàctiques i morfològiques del mètode de transferència i l'avaluació de les animacions.

6.20 D'espanyol parlat a llengua de signes espanyola en quatre mòduls

San-Segundo et al. (2004) descriuen un sistema per a la traducció a la llengua de signes espanyola (LSE) que parteix del reconeixement de la parla. Els altres mòduls que el componen són un analitzador semàntic, un generador de seqüències de signes i un sintetitzador de les animacions. El reconeixedor de la parla és el programa ViaVoice d'IBM en la versió espanyola. El text resultant del reconeixement passa a l'analitzador semàntic, el programa Phoenix v3.0 de la Universitat de Colorado. Aquesta aplicació utilitza una gramàtica lliure de context per a extreure'n els

conceptes semàntics. Però és en l'apartat de generació i síntesi de la llengua de signes on s'ha centrat el projecte.

Als conceptes semàntics que serveixen d'entrada al generador se'ls ha d'assignar una seqüència de signes. El sistema té en compte quatre possibilitats: un concepte es correspon amb un únic signe, un concepte genera diversos signes, uns quants conceptes es representen amb un sol signe i diversos conceptes generen diversos signes. En el primer cas no hi ha cap dificultat: es relaciona cada concepte amb el seu signe. El segon es resol prèviament en l'anàlisi semàntica: l'analitzador permet organitzar els conceptes jeràrquicament, de manera que s'hi poden establir relacions per tal que siguin tractats conjuntament i generin un sol signe, com el primer cas. La generació de diversos signes a partir d'un únic concepte és el cas dels verbs, que en la llengua oral incorporen la informació de temps, aspecte o persona, i dels noms generals de la llengua oral que s'han de representar amb diversos noms específics de la llengua de signes. Això es resol mitjançant regles de generació específiques. Dins dels diversos signes associats a diversos conceptes trobaríem els predicats amb classificadors i els adjectius que canvien segons l'objecte que qualifiquin. La solució adoptada consisteix en aplicar de manera successiva les estratègies del casos segon i tercer: s'agrupen diversos conceptes sota una única estructura i es genera una seqüència de signes a partir d'aquesta estructura conceptual unitària. Tant la gramàtica lliure de context com les regles de generació han estat dissenyades per a dominis restringits, amb la qual cosa no són aplicables a qualsevol àmbit.

En el mòdul d'animació, una eina visual permet definir prèviament els signes: es fixen alguns punts de la trajectòria i el sistema calcula les interpolacions. També es pot determinar la durada del signe. Els gràfics són excessivament esquemàtics i simples.

6.21 Traducció de veu a llengua de signes espanyola en la renovació de documents

El sistema d'Ibáñez et al. (2006) ha estat desenvolupat dins del mateix grup de recerca que l'anterior, a la Universitat Politècnica de Madrid, i se'n podria considerar l'evolució. S'ha restringit el domini a les oracions que pronuncia un funcionari en els tràmits d'obtenció i renovació del DNI o del passaport. Els mòduls s'han reduït a tres: reconeixement de veu, traducció i animació. Ara, el reconeixedor de veu és propi: SERVIVOX.

El sistema seria un híbrid entre la traducció directa i la traducció per transferència sintàctica. En primer lloc, s'assignen unes categories sintacticosemàntiques a cada paraula que determinaran l'aplicació de les regles posteriors. Aquí s'hi inclou la informació referent a si la paraula ha de ser traduïda directament, ha de ser lletrejada o ha de seguir el procés normal. A continuació s'apliquen unes regles que tracten els mateixos casos del sistema anterior (v. § 6.20): les paraules s'agrupen o es reescriuen depenent de si a cadascuna li correspon més d'un signe, a diverses paraules els correspon un únic signe, etc. Després s'eliminen les paraules innecessàries per a la traducció. L'últim pas del procés de traducció és l'ordenació sintàctica dels signes i la generació de la seqüència final.

En l'animació s'utilitzen dos avatars: VGuido, del projecte europeu eSIGN (v. § 3.6), i Sara, prototip propi implementat en OpenGL. Això millora considerablement la qualitat gràfica respecte al sistema anterior.

6.22 IALS: traductor bidireccional entre l'espanyol i la llengua de signes espanyola

La funció per a la qual està pensat el prototip IALS (García et al., 2005) és la comunicació entre persones sordes i oients en situacions prèviament modelades. Incorpora sistemes de reconeixement i generació tant de la parla com de la imatge, però el tret més destacable és l'anàlisi del diàleg. El reconeixedor de la parla emprat és el de Telefónica I+D per al castellà. És independent del locutor i treballa amb un vocabulari limitat, de manera que respon a les necessitats d'ús en contextos restringits. Pel que fa al reconeixement de la imatge, s'utilitza un sistema basat en la visió en el qual el signant porta uns guants de color. En principi es reconeix la silueta, i quan cal discriminar entre signes semblants s'extrauen els contorns interns.

En aquest sistema el diàleg és guiat, basat en situacions de la vida quotidiana, i de vocabulari limitat. D'aquesta manera es faciliten les tasques de reconeixement i s'agilitza el procés de traducció. El diàleg està organitzat en una seqüència més o menys fixa d'oracions, representable mitjançant un diagrama de fluxos, però qualsevol dels dos usuaris hi pot intervenir en qualsevol moment i el sistema reconeixerà en quin estat es troba. Una aplicació per a generar escenaris guia i facilita la creació dels diàlegs: el resultat és un fitxer que cal instal·lar en el sistema. Aquest escenaris contenen tota la informació necessària per tal que el sistema funcioni, incloses les gramàtiques de reconeixement en format SRGS (Speech Recognition Grammar Specification), que defineixen allò que l'usuari pot dir i ho associa a un text de sortida.

En realitat no hi ha una traducció dels enunciats dels usuaris, sinó que es troben predefinits i associats als equivalents en l'altra llengua. El diàleg no és directe entre els dos usuaris: la màquina fa sempre d'intermediària. En un futur, s'espera poder suavitzar les restriccions a mesura que l'evolució de les tecnologies implicades ho permeti.

6.23 Traducció basada en exemples per a la llengua de signes holandesa

Fins on podem saber, la primera proposta de traducció automàtica basada en exemples aplicada a una llengua de signes és la de Morrissey i Way (2005). El seu objectiu final és el desenvolupament d'un traductor bidireccional entre l'anglès i la llengua de signes irlandesa (ISL); però, davant de la manca de corpus en ISL, aprofiten les dades del corpus ECHO (v. § 5.8) per a un traductor de l'anglès a la llengua de signes holandesa (NGT).

El corpus conté 561 oracions amb una mitjana de 7,89 paraules per oració (entre 1 i 53 paraules). La segmentació per oracions senceres i l'alineació de les dues llengües s'ha fet automàticament a partir de les anotacions. Després, en la segmentació interna de les oracions angleses s'han utilitzat les paraules de classe tancada per a marcar

l'inici de cada segment. Per a cada oració en NGT, la línia d'anotació de les glosses s'ha segmentat segons els lapses temporals i s'hi han agrupat les altres línies d'anotació. Malgrat les diferències en el mètode emprat, els segments interns de les oracions en les dues llengües s'han pogut alinear amb èxit.

Les proves fetes amb aquestes alineacions mostren un descens notable en la qualitat de la traducció a mesura que en el text d'entrada augmenten les dades no presents en el corpus paral·lel. Els autors indiquen que aquesta és una primera aproximació a la traducció basada en exemples i que caldria incrementar el corpus i enriquir el diccionari del sistema. També preveuen millorar les anotacions de la llengua de signes amb informació addicional no alineada en el temps i aplicada a tots els nivells de l'anotació: això hauria de millorar l'alineació amb el text anglès i facilitar la creació automàtica de plantilles generals per a la traducció. Mentrestant, s'està creant un corpus en llengua de signes irlandesa amb vint hores d'enregistraments de vídeo que millorarà les anotacions incorporant-hi informació fonològica.

7 CONCLUSIONS

En un projecte de desenvolupament d'un traductor automàtic per a la llengua de signes, els focus d'interès poden ser diversos. Si donem preferència al processament del llenguatge, ens centrarem en l'anàlisi lingüística i el procés de traducció. Un enfocament més tecnològic pot prioritzar el reconeixement i la síntesi dels signes. La visió més àmplia, com hem vist en la introducció (fig. 1.1), integrarà tots els mòduls possibles: tractament de la parla, tractament dels signes i traducció automàtica. Nosaltres adoptem el primer plantejament: ens interessen els aspectes lingüístics de la traducció. De tota manera, la manca d'un sistema d'escriptura normalitzat fa gairebé imprescindible el tractament dels signes, bé per a rebre les dades d'entrada o bé per a donar el resultat en un format intel·ligible.

El reconeixement dels signes és una disciplina d'una gran complexitat tècnica, i la correcta integració en un sistema de traducció requereix un alt nivell de correcció en el reconeixement de signes continus i components no manuals. Els resultats aconseguits fins al moment limiten bastant les possibles aplicacions dels sistemes de traducció, que han de reduir tant com sigui possible el marge d'error de les dades d'entrada. En canvi, és més factible incorporar un mòdul de síntesi que converteixi el text traduït en una animació comprensible per als signants. A més, la utilitat social de la traducció de llengua oral a llengua de signes sembla major que la de la traducció inversa: pot ajudar a eliminar les barreres amb què les persones sordes es troben a l'hora d'accedir a la gran quantitat d'informació actualment disponible. Per tots aquest motius, sembla aconsellable començar el desenvolupament d'un traductor automàtic en aquest sentit de la traducció: de la llengua oral a la de signes.

Pel que fa a la síntesi de la llengua de signes, les opcions són diverses. La captació de moviments dóna uns resultats més realistes, però els sistemes són més complexos, costosos i menys flexibles, per la qual cosa se sol preferir la síntesi a partir de components primitius dels signes. Potser l'aspecte més important és que l'animació sigui capaç de representar adequadament tots els aspectes de la descripció de la llengua de signes que li serveixen d'entrada: moviment precisos de la mà, paràmetres no manuals, regulació de la durada i la intensitat dels signes, etc. Els projectes ViSiCAST (v. § 6.11) i eSIGN (v. § 3.6), o el programa Sign Smith de Vcom3D (v. § 3.11), ens n'ofereixen bons exemples. De tota manera, això no serveix de res si la descripció prèvia no és acurada, i per tant no pot ignorar els components bàsics dels signes: configuració, localització, orientació, moviment i trets no manuals. Un sistema de síntesi que no els tingui en compte en l'entrada del procés d'animació, difícilment serà apte per a la representació de la llengua de signes.

El sistema de transcripció emprat juga un paper fonamental en la precisió de la descripció dels signes. Les notacions HamNoSys (v. § 4.3) i SignWriting (v. § 4.2) tenen a favor la projecció internacional, l'aplicació efectiva en diferents llengües i la implementació d'un llenguatge en format XML, però compten amb certes limitacions. Curiosament, els defectes d'un sistema solen ser els punt forts de l'altre, de manera que es podrien complementar fàcilment. Per la seva banda, els models seqüencials, com Movement-Hold (v. § 4.5), ofereixen un punt de vista interessant

per a la segmentació dels signes que es pot compatibilitzar amb altres formalismes, amb la qual cosa cal tenir-los en compte. De tota manera, les mancances d'aquests sistemes es poden superar amb l'ús d'eines d'anotació: són més flexibles i permeten incorporar informació lingüística a diferents nivells (fonològic, morfològic, semàntic, sintàctic...). D'entre elles, creiem que en destaca l'eina ELAN (v. § 5.7): és gratuïta, en codi obert, fruit de l'experiència del Max Planck Institute i ha estat emprada en el corpus multilingüe ECHO (v. § 5.8). En aquest corpus s'han establert uns criteris d'anotació que poden servir de base per a la codificació de la llengua de signes en un sistema de traducció automàtica. Morrissey i Way (2005) els han posat a prova en el seu projecte de traducció basada en exemples (v. § 6.23) i n'han assenyalat les mancances: principalment, cal millorar l'anotació dels trets fonològics i afegir-hi informació que faciliti l'alineació de textos paral·lels. Això pot obrir una línia de recerca encaminada a la definició d'uns criteris de descripció de la llengua de signes aplicables a diferents processos: anotació de corpus, traducció automàtica, síntesi i reconeixement. Si la descripció de la llengua de signes és prou acurada i completa, les dades d'un corpus anotat es podran emprar directament en un sistema de traducció estadística. A més, serviran per a la transcripció i l'anàlisi lingüística durant el procés de traducció. D'altra banda, el llenguatge XML dels fitxers d'anotació d'ELAN els fa aptes com a entrada d'un sistema de síntesi: si això es té en compte des del primer moment, els criteris de la descripció es poden adaptar per a la correcta generació de la llengua de signes –i, seguint el sentit invers, per al reconeixement.

Si ens centrem en els sistemes de traducció analitzats, veiem que la majoria són de transferència i basats en regles, com passa amb les llengües orals. La traducció directa obté uns resultats bastant allunyats de les autèntiques llengües de signes i no té en compte la seva gramàtica. A l'altre extrem trobem els sistemes amb *interlingua*, amb el projecte ZARDOZ (v. § 6.5) com a únic representant: aquest enfocament permet tractar aspectes conflictius de la llengua de signes i facilita la traducció multilingüe, però la codificació dels esquemes conceptuals de la *interlingua* són molt complexos i en limiten l'abast. És interessant la proposta de Huenerfauth (2004) de combinar els tres enfocaments (v. § 6.19). El sistema comença pel nivell més complex i restringit, el de la *interlingua*, especialitzat en la resolució dels classificadors. Els casos que queden fora del seu abast passen a les regles de transferència, les qual també estan limitades a certs fenòmens gramaticals. Per últim, allò que no ha estat tractat es resol amb la traducció directa. D'aquesta manera es poden aprofitar al màxim les possibilitats de cadascun sense complicar excessivament el sistema. Pel que fa a la traducció estadística (v. § 6.8, 6.17 i 6.23), és una opció interessant de cara al futur però es veu molt limitada per la manca de dades en llengua de signes aptes per a l'entrenament dels sistemes. Podria ser factible si s'associa a la creació d'un corpus prou complet, o en aplicacions restringides, en les quals es pot disposar d'una sèrie de dades específiques amb poca variabilitat.

El repte més important per a aquests sistemes de traducció és la resolució dels fenòmens gramaticals específics de les llengües de signes, principalment els que fan un ús gramatical de l'espai i els que presenten simultaneïtat de trets, sense oblidar l'expressió dels components no manuals. És interessant fixar-se en els enfocaments dels sistemes TEAM (v. § 6.10), ViSiCAST (v. § 6.11) i ASL Workbench (v. § 6.13), que Huenerfauth (2003) analitza detalladament. En el primer es modifiquen els

paràmetres dels signes per tal d'incorporar-hi informació aspectual i adverbial en la generació de les animacions. En ViSiCAST, la representació semàntica i d'estructura del discurs permet tractar les expressions coreferents i evita la influència de la sintaxi anglesa en la generació de la LS. També hi destaca l'alt grau d'intervenció de l'usuari en la traducció. El principal avantatge de l'ASL Workbench és la profunditat de l'anàlisi sintàctica: així s'obté una representació prou abstracta que simplifica les regles de transferència i flexibilitza la generació de la llengua de signes i la representació dels trets no manuals. A més, els trets dels signes es troben subespecificats i poden ser completats a partir de la informació morfològica i gramatical disponible.

Així doncs, a l'hora de desenvolupar un nou sistema de traducció, les possibilitats són diverses. El plantejament més segur és el d'un traductor per transferència basat en regles. Les dificultats vénen del tractament de la gramàtica de la llengua de signes: aquí no hi ha una opció preeminent i el resultat dependrà en gran mesura de la profunditat de l'anàlisi lingüística. De tota manera, hem de tenir en compte que no hi ha cap sistema de traducció perfecte, i el marge d'error admissible va en funció de l'ús. Si la traducció de sortida ha de ser el resultat final que es mostrarà als usuaris potencials, no pot haver-hi ambigüitats i l'error ha de ser controlat amb mesures com la restricció del context d'aplicació. En canvi, si l'aplicació ha de servir com a eina de traducció, amb un usuari que intervé durant el procés i que pot editar i modificar el resultat, es pot admetre un major grau de flexibilitat. L'associació del traductor amb una interfície d'edició també amplia les possibilitats d'aplicació: permet crear continguts en llengua de signes i transformar-los en animacions.

Nosaltres ens marquem com a treball futur el desenvolupament d'un sistema de traducció automàtica del català a la llengua de signes catalana. Creiem que, com a eina de traducció, l'usuari haurà de poder intervenir en el procés i per aquest motiu caldrà incorporar-hi una interfície d'edició. L'editor es podria basar en l'eina d'anotació ELAN: un sistema de síntesi associat utilitzaria els arxius de sortida d'ELAN en XML. Un dels objectius principals serà la determinació d'uns criteris de descripció basats en els del corpus ECHO que tinguin en compte les observacions de Morrissey i Way (2005). Aquest criteris han de ser aptes per a l'anotació de corpus, l'anàlisi lingüística durant el procés de traducció –i la possible aplicació en un sistema de traducció estadística– i la generació i síntesi de la llengua de signes.

BIBLIOGRAFIA

AOKI, Yoshinao [et al.] (1998). "Sign Language Communication Between Japanese-Korean and Japanese-Portuguese Using CG Animation" A: *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing*. (1998 : Seattle). [s.l.]: IEEE Computer Society, p. 3765-3768.

BANGHAM, J.A. [et al.] (2000). "Virtual Signing: Capture, Animation, Storage and Transmission – An Overwiew of the ViSiCAST Project". A: *IEE Seminar on Speech and language processing for disabled and elderly people*. (2000 : London).

BARTOLINI, Sandro; BENNATI, Paolo; GIORGI, Roberto (2006). "Bluesign-2, il nuovo visualizzatore portatile per la Lingua Italiana dei Segni". A: *Atti del 51° Corso Nazionale di Studio, Formazione e Aggiornamento dell'AIES* (51º : 2005 : S. Pelegrino Terme). Siena: Edizioni Cantagalli, p. 140-145.

BAUER, Britta; NIEßEN, Sonja; HIENZ, Hermann (1999). "Towards an Automatic Sign Language Translation System". A: UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SIENA [ed.]: *Proceedings of the 1st International Workshop on Physicality and Tangibility in Interaction: Towards New Paradigms for Interaction Beyond the Desktop.* (1st : 1999 : Siena).

BUNGEROTH, Jan; NEY, Hermann (2004). "Statistical Sign Language Translation". A: *Workshop on Representation and Processing of Sign Languages, 4th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2004).* (4th : 2004: Lisbon) P. 105-108.

BUNGEROTH, Jan [et al.] (2006). "A German Sign Language corpus of the domain weather report". A: CALZOLARI, Nicoletta [et al.] [eds.]. *Proceedings of the 5th International Conference on Language Resources and Evaluation* (5th : 2006 : Geneva). Paris : ELRA, p. 2000-2003.

BUTTUSSI, Fabio; CHITTARO, Luca; NADALUTTI, Daniele (2006). "H-Animator: A Visual Tool for Modeling, Reuse and Sharing of X3D Humanoid Animations". A: *Proceedings of the Web3D 2006: 11th International Conference on 3D Web Technology*. (11th : 2006 : Columbia). New York: ACM Press, p. 109-117.

CHAPA, Carmen (2000). "El sistema de transcripción por glosas". A: MINGUET SOTO, Amparo [ed.]. *Signolingüística: Introducción a la lingüística de la Lengua de Signos Española*. Valencia: Fundación FESORD C.V., p. 151-155.

COSTA, Antônio Carlos R.; DIMURO, Graçaliz P. (2001). "Supporting Deaf Sign Languages in Written Form on the Web" [en línia]. *The SignWriting Journal*, núm. 0. <http://sign-net.ucpel.tche.br/sw-journal/number0/article1.htm> [Consulta: 14 juny 2007]

COX, Stephen [et al.] (2003). "The Development and Evaluation of a Speech to Sign Translation System to Assist Transactions". *Int. Journal of Human Computer Interaction*, vol. 16, núm. 2, p. 141-161.

CUXAC, Christian [et al.] (2002). *Projet LS-Colin : Rapport de fin de recherche* [en línia]. Paris: Ministère de la recherche, Programme Cognitique 2000. <http://www.irit.fr/LS-COLIN> [Consulta: 6 juny 2007]

DYBKJAER, Laila [et al.] (2001). *ISLE Natural Interactivity and Multimodality Working Group Deliverable D11.1: Survey of Existing Tools, Standards and User Needs for Annotation of Natural Interaction and Multimodal Data* [en línia]. <http://isle.nis.sdu.dk/reports/wp11/> [Consulta: 20 juny 2007]

EDWARDS, Alistair D.N. (1998). "Progress in Sign Language Recognition". A: WACHSMUTH, Ipke; FROHLICH, Martin [eds.]. *Proceedings of International Gesture Workshop: Gesture and Sign Language in Human-Computer Interaction*. (1997 : Bielefeld). Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science; 1371), p. 13-21.

ELLIOTT, Ralph [et al.] (2000). "The Development of Language Processing Support for the ViSiCAST Project". A: *4th International ACM SIGCAPH Conference on Assistive Technologies*. (4rt : 2000 : Arlington). New York: ACM Press, p. 101-108.

FOTINEA, Stavroula-Evita [et al.] (2005). "Dynamic GSL Synthesis to Support Access to e-Content". A: *Proceedings of the 3rd International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction.* (3rd : 2005 : Las Vegas).

FRANCIK, Jarosław; FABIAN, Piotr (2002). "Animating Sign Language in the Real Time". A: *20th IASTED International Multi-Conference on Applied Informatics*. (20th : 2002 : Innsbruck). P. 276-281.

FURST, Jacob [et al.] (2000). "Database Design for American Sign Language". A: *Proceedings of the ISCA 15th International Conference on Computers and Their Applications*. (15th : 2000 : New Orleans). P. 427-430.

GARCÍA ROJO, Juan José [et al.] (2005). "Tecnologías audiovisuales para la e-inclusión: El intérprete de la lengua de signos". Comunicaciones de Telefónica I+D [en línia], [Madrid], núm. 39, p. 105-116. <http://www.tid.es/documentos/revista_comunicaciones_i+d/numero39.pdf> [Consulta: 25 juliol 2007]

GRIEVE-SMITH, Angus (1999). *English to American Sign Language Machine Translation of Weather Reports* [en línia]. <http://www.unm.edu/~grvsmth/portfolio/mt-weath.html> [Consulta: 20 juny 2007]

GRIEVE-SMITH, Angus (2002). "SignSynth: A Sign Language Application Using Web3D and Perl". A: WACHSMUTH, Ipke; SOWA, Timo [eds.]. *International Gesture Workshop: Gesture and Sign Language in Human-Computer Interaction*. (2001 : London). Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science; 2298), p. 134-145.

HANKE, Thomas (2002). "iLex - A tool for sign language lexicography and corpus analysis". A: GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Manuel; SUÁREZ ARAUJO, Carmen Paz [eds.]. *Proceedings of the Third International Conference on Language Resources and Evaluation*. (3rd : 2002 : Las Palmas de Gran Canaria). Paris: ELRA, vol. III, p. 923-926.

HANKE, Thomas (2004). "HamNoSys—Representing sign language data in language resources and language processing contexts". A: STREITER, Oliver [et al.] [eds.]. *4th International Conference on Language Resources and Evaluation: Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages*. (4th : 2004 : Lisbon). P. 1-6.

HANKE, Thomas; PRILLWITZ, Siegmund (1995). "syncWRITER: Integrating Video into the Transcription and Analysis of Sign Language". A: BOS, Heleen F.; SCHERMER, Gertrude M. [eds.]. *Sign Language Research 1994: Proceedings of the Fourth European Congress on Sign Language Research*. (4t : 1994 : Munich). Hamburg: Signum (International Studies on Sign Language and Communication of the Deaf; 29), p. 303-312.

HERATH, Susantha; SAITO, Chie; HERATH, Ajantha (2000). "Analysis of Sign Languages: A Step Towards Multi-lingual Machine Translation for Sign Language". A: BJØRNER, Dines; BROY, Manfred; ZAMULIN, Alexandre V. [eds.]. *Perspectives of System Informatics : Third International Andrei Ershov Memorial Conference*. (3rd : 1999 : Novosibirsk). Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science; 1755), p. 530-537.

HERNÁNDEZ-REBOLLAR, José L.; KYRIAKOPOULOS, Nicholas; LINDEMAN, Robert W. (2004). "A New Instrumented Approach For Translating American Sign Language Into Sound And Text" [en línia]. A: *IEEE International Conference on Face and Gesture Recognition* (6th : 2004 : Seoul). <http://home.gwu.edu/~jreboll/publications1.htm> [Consulta: 15 juny 2007]

HERRERO, Ángel (2003). *Escritura alfabética de la lengua de signos española: Once lecciones*. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante.

HOITING, Nini; SLOBIN, Dan I. (2002). "Transcription as a Tool for Understanding: The Berkeley Transcription System for Sign Language Research (BTS)". A: MORGAN, Gary; WOLL, Bencie [eds.]. *Directions in Sign Language Acquisition*. Amsterdam, Philadelphia: John Benjamins, p. 55-75.

HOLDEN, Eun-Jung; ROY, Geoffrey G. (1992). “The Graphical Translation of English Text into Signed English in the Hand Sign Translator System”. A: KILGOUR, A.; KJELLDAHL, L. [eds.]. *Eurographics '92 Proceedings*. Oxford: Blackwell Publishers, (Computer Graphics Forum; vol. 11, núm. 3), p. 357-366.

HOLMES, John; HOLMES, Wendy (2001). *Speech Synthesis and Recognition*. London: Taylor & Francis, 2nd edition.

HUENERFAUTH, Matt (2003). *A Survey and Critique of American Sign Language Natural Language Generation and Machine Translation Systems: Technical Report MS-CIS-03-32* [en línia]. Philadelphia: Computer and Information Science, University of Pennsylvania. <http://www.seas.upenn.edu/~matthewh/publications/huenerfauth-2003-ms-cis-03-32-asl-nlg-mt-survey.pdf> [Consulta: 17 juliol 2007]

HUENERFAUTH, Matt (2004). “A Multi-Path Architecture for Machine Translation of English Text into American Sign Language Animation”. A: *Proceedings of the Student Workshop at the Human Language Technology Conference on the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics Annual Meeting*. (2004 : Boston). <http://www.seas.upenn.edu/~matthewh/publications/huenerfauth-2004-hlt-naacl-multipath-architecture-english-asl.pdf> [Consulta: 24 juliol 2007]

IBÁÑEZ, E. [et al.] (2006). “Prototipo de traducción de voz a lengua de signos española”. A: *IV Jornadas en Tecnología del Habla*. (4ª : 2006 : Zaragoza). Zaragoza: Universidad de Zaragoza, p. 117-122.

IGI, Seiji [et al.] (2003). "Sign-Language Synthesis for Mobile Environments." A: *Proceedings of the 11th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*. (11th : 2003 : Plzen). P. 49-52.

IRVING, Amanda; FOULDS, Richard (2005). “A Parametric Approach to Sign Language Synthesis”. A: SEARS, Andrew; PONTELLI, Enrico [eds.]. *Proceedings of the ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility.* (7th : 2005 : Baltimore). New York: ACM Press, p. 212-213.

KAMATA, Kazuo [et al.] (1989). "An Approach To Japanese - Sign Language Translation System", *Proceedings of IEEE International Conference on Systems Man Cybernetics.* (1989 : Cambridge). [s.l.]: IEEE Computer Society, vol. 3, p. 1089-1090.

KIM, Sang-Woon; LI, Zhe-Xue; AOKI, Yoshinao (2004). “On Intelligent Avatar Communication Using Korean, Chinese and Japanese Sign-Languages: An Overview,” *Proceedings of Eighth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*. (8th : 2004 : Kunming). [s.l.]: IEEE Computer Society, p. 747-752.

KOIZUMI, Atsuko; SAGAWA, Hirohiko; TAKEUCHI, Masaru (2002). "An annotated Japanese Sign Language Corpus". A: GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Manuel; SUÁREZ ARAUJO, Carmen Paz [eds.]: *Proceedings of the Third International Conference on Language Resources and Evaluation*. (3rd : 2002 : Las Palmas de Gran Canaria). Paris : ELRA, vol. III, p. 927-930.

LEBOURQUE, Thierry; GIBET, Sylvie (1999). "High Level Specification and Control of Communication Gestures: The GESSYCA System". A: *Proceedings of the Computer Animation*. (1999 : Geneva). [s.l]: IEEE Computer Society, p. 24-35.

LEE, Jintae; KUNII, Tosiyasu L. (1992). "Visual Translation from Native Language to Sign Language". A: *Proceedings of the IEEE Workshop on Visual Languages*. (1992 : Seattle). [s.l.]: IEEE Computer Society, p. 103-109.

LOEDING, Barbara L. [et al.] (2004). "Progress in Automated Computer Recognition of Sign Language". A: KLAUS, Joachim [et al.] [eds.]. *Computers Helping People with Special Needs: 9th International Conference*. (9th : 2004 : Paris). Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science; 3118), p. 1079-1087.

LOSSON, Olivier; VANNOBEL, Jean-Marc (1999). "Sign Specification and Synthesis". A: BRAFFORT, Annelies [et al.] [eds.]. *Proceedings of International Gesture Workshop: Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*. (1999 : Gif-sur-Yvette). Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science; 1739), p. 239-251.

MANDEL, Mark A. (1993). *ASCII-Stokoe Notation: A Computer-Writeable Transliteration System for Stokoe Notation of American Sign Language* [en línia]. <http://www.speakeasy.org/~mamandel/ASCII-Stokoe.html> [Consulta: 12 juny 2007]

MARSHALL, Ian; SÁFÁR, Eva (2003). "A Prototype Text to British Sign Language (BSL) Translation System". A: *Companion Volume to the Proceedings of 41st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. (41st : 2003 : Sapporo). P. 113-116.

MARTELL, Craig (2001). *Gesture Annotation: Tools and Data* [en línia]. Philadelphia: University of Pennsylvania. <http://www.ldc.upenn.edu/annotation/gesture/> [Consulta: 7 juny 2007]

MILLER, Christopher (2001). "Some reflections on the need for a common sign notation". *Sign Language & Linguistics*, [Amsterdam, Philadelphia], vol. 4, núm. 1, p. 11-28.

MORRISSEY, Sara; WAY, Andy (2005). "An Example-based Approach to Translating Sign Language". A: *The Tenth Machine Translation Summit: Proceedings of the Workshop in Example-Based Machine Translation*. (10th : 2005 : Phuket). P. 109-116.

MORRISSEY, Sara; WAY, Andy (2006). "Lost in Translation: the Problems of Using Mainstream MT Evaluation Metrics for Sign Language Translation". A: *Proceedings of the 5th SALTMIL Workshop on Minority Languages*. (5th : 2006 : Geneva). P. 91-98.

MUÑOZ, Irma Mª (2000). "Sistemas de escritura de lenguas de Signos: Signwriting y HamNoSys". A: MINGUET SOTO, Amparo [ed.]. *Signolingüística: Introducción a la lingüística de la Lengua de Signos Española*. Valencia: Fundación FESORD C.V., p. 157-167.

NADALUTTI, Daniele; CHITTARO, Luca; BUTTUSSI, Fabio (2006). "Rendering of X3D Content on Mobile Devices with OpenGL ES". A: *Proceedings of the Web3D 2006: 11th International Conference on 3D Web Technology*. (11th : 2006 : Columbia). New York: ACM Press, p. 19-26.

NEIDLE, Carol; SCLAROFF, Stan; ATHITSOS, Vassilis (2001). "SignStream: A Tool for Linguistic and Computer Vision Research on Visual-Gestural Language Data". *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, vol. 33, núm. 3, p. 311-320.

NONHEBEL, Annika; CRASBORN, Onno; VAN DER KOOIJ, Els (2004). *Sign language transcription conventions for the ECHO Project* [versió 9] [en línia]. Nijmegen: Radboud University Nijmegen. <http://www.let.kun.nl/sign-lang/echo/docs/transcr_conv.pdf> [Consulta: 26 juny 2007]

OHKI, Masaru [et al.] (1994). "Pattern Recognition and Synthesis for Sign Language Translation System". A: *Proceedings of the First Annual ACM Conference on Assistive Technologies*. (1st : 1994 : Marina Del Rey). New York: ACM Press, p.1-8.

ONG, Sylvie C.W.; RANGANATH, Surendra (2005). "Automatic Sign Language Analysis: A Survey and the Future beyond Lexical Meaning". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, núm. 6, p. 873-891.

PAPADOGIORGAKI, M. [et al.] (2004). "VSigns – A Virtual Sign Synthesis Web Tool" [en línia]. A: *Proceedings Sixth COST 276 Workshop on Information and Knowledge Management for Integrated Media Communication*. (6th : 2004 : Thessaloniki). <http://www.iti.gr/db.php/en/publications/details/591.html> [Consulta: 14 juny 2007]

PARKHURST, Steve; PARKHURST, Dianne (2001). *SignoEscritura: Un sistema completo para escribir y leer las Lenguas de Signos* [en línia]. Madrid: PROEL. <http://www.signwriting.org/lessons/lessonsw/Spanish.html> [Consulta: 15 juny 2007]

PARTON, Becky Sue (2006). "Sign Language Recognition and Translation: A Multidisciplined Approach from the Field of Artificial Intelligence". *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, [Oxford], vol. 11, núm, 1, p. 94-101.

SÁFÁR, Eva; MARSHALL, Ian (2001). "The Architecture of an English-Text-to-Sign-Languages Translation System". A: ANGELOVA, G. [et al.] [eds.]. *Recent Advances in Natural Language Processing*. (2001 : Tzigov Chark). P. 223-228.

SAN-SEGUNDO, Rubén [et al.] (2004). "Generating Gestures from Speech". A: *Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing*. (8th : 2004 : Jeju Island).

SPEERS, d'Armond L. (2001). *Representation of American Sign Language for Machine Translation* [en línia]. Washington: Department of Linguistics, Georgetown University. [Tesi doctoral].
<http://higbee.cots.net/Holtej/dspeers-diss.pdf> [Consulta: 15 juny 2007]

SUSZCZAŃSKA, Nina; SZMAL, Przemysław (2001). "Machine Translation from Written Polish to the Sign Language in a Symbolic Form". A: *1st International Conference on Applied Mathematics and Informatics at Universities.* (1st : 2001 : Gabcikovo). P. 253-259.

SZMAL, Przemysław; SUSZCZAŃSKA, Nina (2001). "Selected Problems of Translation from the Polish Written Language to the Sign Language". *Archiwum Informatyki Teoretycznej i Stosowanej*, vol. 13, núm 1, p. 37-51.

TOKUDA, Masaaki; OKUMURA, Manabu (1998). "Towards automatic translation from Japanese into Japanese Sign Language". A: MITTAL, Vibhu O. [et al.] [eds.]: *Assistive Technology and Artificial Intelligence : Application in Robotics, User Interfaces, and Natural Language Processing*. Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science; 1458), p. 97-108.

VAN ZIJL, Lynette (2006). "South African Sign Language Machine Translation Project". A: *Proceedings of the 8th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. (8th : 2006 : Portland). P. 233-234.

VEALE, Tony; COLLINS, Bróna (1996). "Space, Schematization & Metaphor in Sign: Sign Language Translation in the Zardoz System". A: *Proceedings of the Second Conference of the Association for Machine Translation in the Americas*. (2nd : 1996 : Montreal). P. 168-179.

VEALE, Tony; CONWAY, Alan; COLLINS, Bróna (1998). "The Challenges of Cross-Modal Translation: English to Sign Language Translation in the ZARDOZ System". *Machine Translation*, [Amsterdam], vol. 13, núm. 1, p. 81-106.

VOGLER, Christian (2003). *American Sign Language Recognition: Reducing the Complexity of the Task with Phoneme-Based Modeling and Parallel Hidden Markov Models* [en línia]. Philadelphia: Department of Computer and Information Science, University of Pennsylvania. [Tesi doctoral]. <http://gri.gallaudet.edu/~cvogler/research/data/vogler-diss03.pdf> [Consulta: 15 juny 2007]

WIDEMAN, Carol J.; SIMS, Edward M. (1998). "Signing Avatars" [en línia]. A: *Proceedings of the CSUN Conference*. (1998 : Northridge). <http://www.dinf.ne.jp/doc/english/Us_Eu/conf/csun_98/csun98_027.htm> [Consulta: 7 agost 2007]

WITTENBURG, Peter [et al.] (2002). "Multimodal Annotations in Gesture and Sign Language Studies". A: GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Manuel; SUÁREZ ARAUJO, Carmen Paz [eds.]: *Proceedings of the Third International Conference on Language Resources and Evaluation*. (3rd : 2002 : Las Palmas de Gran Canaria). Paris : ELRA, vol. III, p. 176-182.

WRAY, Alison [et al.] (2004). "A Formulaic Approach to Translation at the Post Office: Reading the Signs". *Language and Communication*, vol. 24, núm. 1, p. 59-75.

WU, Ying; HUANG, Thomas S. (1999). "Vision-Based Gesture Recognition: A Review". A: BRAFFORT, Annelies [et al.] [eds.]. *Proceedings of International Gesture Workshop: Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*. (1999 : Gif-sur-Yvette). Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science; 1739), p. 103-115.

YI, Beifang; HARRIS, Frederick C.; DASCALU, Sergiu M. (2005). "From Creating Virtual Gestures to "Writing" in Sign Languages". A: VAN DER VEER, Gerrit C.; GALE, Carolyn [eds.]. *Extended Abstracts Proceedings of the 2005 Conference on Human Factors in Computing Systems*. (2005 : Portland). New York: ACM Press, p. 1885-1888.

ZHAO, Liwei [et al.] (2000). "A Machine Translation System from English to American Sign Language". A: WHITE, J.S. [ed.]. *Proceedings of AMTA-2000: Envisioning Machine Translation in the Information Future.* (2000 : Mexico). Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Artificial Intelligence; 1934), p. 54-67.

ZWITERSLOOD, Inge [et al.] (2004). "Synthetic Signing for the Deaf: eSIGN". A: *Proceedings of the Conference and Workshop on Assistive Technologies for Vision and Hearing Impairment.* (2004 : Granada).