

Sistema de predicció de pictogrames per una aplicació de CAA basada en pictogrames

José M. Rivas Medina

Resum — En aquest projecte hem construït un sistema de compansió (compressió-expansió) que expandeix llenguatge telegràfic (frases únicament amb paraules de contingut sense reflexió) en frases de llenguatge natural en català i castellà, en el context d'un programari de Comunicació Augmentativa i Alternativa (CAA). El sistema ha estat dissenyat per millorar la comunicació dels usuaris de CAA, que normalment tenen deficiències motores o de parla greus i que utilitzen mètodes de comunicació basats en pictogrames en la seva vida diària. No obstant això, també pot ser vist com una eina per donar suport a l'alfabetització d'aquests usuaris i a la rehabilitació de trastorns del llenguatge. El sistema de compressió i expansió té dos components principals: una analitzador de dependències sintàctico-semàntic en el qual es basa el nostre predictor i un generador que construeix la frase final. Aquest document explica el desenvolupament d'aquest projecte.

Paraules clau — Comunicació augmentativa i alternativa, processament del llenguatge natural, compansió (compressió-expansió), llenguatge telegràfic, pictogrames, analitzador de dependències, analitzador semàntic, gramàtica controlada, machine learning.

Abstract — In this project we have built a compansion (compression-expansion) system that expands telegraphic language (utterances with only uninflected content words) into natural language sentences in Catalan and in Spanish, in the context of an Augmentative and Alternative Communication (AAC) software. The system has been designed to improve the communication of AAC users, who usually have severe speech or motor impairments and use pictogram-based communication methods in their daily life. However, it can also be seen as a potential tool to support literacy for these users and to help in the field of language reharethabilitation. The compansion system has two main components: a syntactic-semantic dependency parser, in which our predictor is based and a generator that constructs the final sentence. This document explains the development of this project.

Index Terms — Augmentative and alternative communication, natural language processing, compansion (compression-expansion), telegraphic language, pictograms, dependency parser, semantic parser, controlled grammar, machine learning.

1 INTRODUCCIÓ

En els últims anys l'ús de les tecnologies ha augmentat progressivament, canviant la nostra manera de comunicar-nos, i fins i tot ajudant a expressar-se a persones que pateixen dificultats amb la parla. Per aquest motiu en nostre projecte es desenvolupa un sistema de predicció de pictogrames que s'integri a una aplicació de Comunicació Augmentativa i Alternativa (CAA).

La CAA és un seguit de tècniques i d'eines que utilitzen les persones que no es poden comunicar habitualment a través de la parla, ja sigui per problemes d'autisme o paràlisi cerebral, i aquest mecanisme té com a objectius principals:

- i. Proporcionar mitjans alternatius de comunicació fins que la parla és bastant restaurada.
- ii. Proporcionar mitjans alternatius de comunicació per tota la vida, quan la parla és inexistent o

severament afectada.

- iii. Donar suport al desenvolupament i la restauració d'expressió i altres habilitats lingüístiques

En aquest cas, el sistema és per persones que es comuniquen mitjançant pictogrames, dibuixos que expressen conceptes i que substitueixen les paraules.

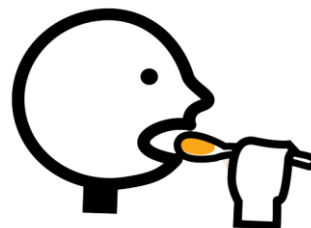


Fig 1. Pictograma del verb menjar.

Els usuaris d'aquests sistemes acostumen a tenir greus restriccions de mobilitat que els impedeixen parlar i utilitzar un teclat convencional i/o un ratolí per escriure. En general, per fer un clic de ratolí i seleccionar un pictograma poden tardar entre 15 segons i un minut. Així doncs, un sistema de predicció de pictogrames que

• E-mail de contacte: josemanuel.rivasm@e-campus.uab.cat
 • Menció realitzada: Menció de Computació (Ciències de la Computació i Centre de Visió per Computador)
 • Treball tutoritzat per: Maria Vanrell i Martorell
 • Curs 2015/2016

suggereixi el següent pictograma pot ser molt útil de cara a millorar la ratio de comunicació.

Actualment hi ha al mercat una multitud d'aplicacions pagades i de franc basades en CAA, com l'aplicació per la plataforma d'Android LetMeTalk [1], l'aplicació per a mòbils amb iOS Proloquo2Go [2] o Picto Connection [3], aplicació multiplataforma i també disponible en entorn web però gairebé cap incorpora un sistema de predicció, aquest és el nostre gran repte.

Cal dir que aquest projecte forma part del desenvolupament d'una aplicació que pretèn ser l'única que implementa una expansió del llenguatge, es a dir, amb un mecanisme per a transformar aquest llenguatge telegràfic (contingut sense inflexió) en frases en llenguatge natural en català i/o castellà.

Així doncs, es tracta d'un projecte d'empresa, que és finançat amb una beca de Telefónica, per tant tot el desenvolupament del software es realitza a les seves oficines i amb l'ajuda i supervisió d'un mentor a l'empresa Telefónica. El sistema es basa en els resultats de la seva tesi doctoral.

2 OBJECTIUS

Per tant s'ha de dissenyar i implementar el mòdul de predicció que requereix fer servir diferents tècniques de Machine Learning. Idealment el sistema haurà d'aprendre de l'ús de l'usuari; tenir en compte els pictogrames prèviament introduïts, la freqüència d'ús de les paraules que representen cada un dels pictogrames, etc.

L'aplicació també conté un sistema d'expansió del llenguatge telegràfic a llenguatge natural que donarà context al sistema de predicció de cada un dels tipus de frases que es poden construir. Així doncs, el sistema de predicció haurà de poder treballar tant conjuntament com independentment d'aquest sistema d'expansió, el parser del qual té en compte tant elements lèxics i sintàctics com semàntics de les paraules i de les frases que es volen generar.

3 METODOLOGIA

El projecte s'ha desenvolupat entre 4 desenvolupadors de software, més un membre amb un perfil de disseny-maquetador i un altre amb coneixements de lingüística, juntament amb la coordinació del tutor a l'empresa, és a dir, ha sigut possible entre un total de 7 membres a l'equip.

La metodologia que s'ha aplicat durant el cicle de desenvolupament del projecte és la metodologia àgil scrum, una procés en el que s'apliquen de manera regular un conjunt de bones pràctiques per a treballar en col·laboració, en equip, i obtenir el millor resultat possible en el projecte, on es feien canvis constants de rol i tasques

assignades segons l'estat del projecte, encara que el meu paper es veia molt marcat per la implementació del sistema de predicció.

3.1 ANÀLISI

Abans de submergir-nos en el concepte de la predicció, cal que primer definim bé el concepte d'oració en el que es basarà la predicció. Doncs bé, una oració es defineix com la unitat mínima de comunicació que relaciona i concorda un sintagma nominal (funció de subjecte) amb un sintagma verbal (funció de predicat), és a dir, per simplificar podem dir que es compon de nom i verb.

Per això disposem de tota una base de dades amb un vocabulari determinat que es mostrarà per pantalla d'una manera organitzada i en grups de termes del mateix tipus gramatical.

3.2 DISSENY

El disseny de l'aplicació es basa en 3 mòduls principals. Per una banda es troba el mòdul encarregat de la predicció de pictogrames, per altra banda tenim el mòdul de la interfície per a realitzar la interacció dels usuaris amb el sistema, totes dues inter-relacionades mitjançant el mòdul de la base de dades on s'emmagatzema tota la informació proporcionada a l'usuari.

Cal destacar que tot el desenvolupament satisfà el paradigma model-vista-controlador (MVC)[4] per tenir un projecte de qualitat i evitar dependències. També, el codi segueix un estil de codificació acurat, documentant, i amb un màxim de caràcters per línia i per funció.

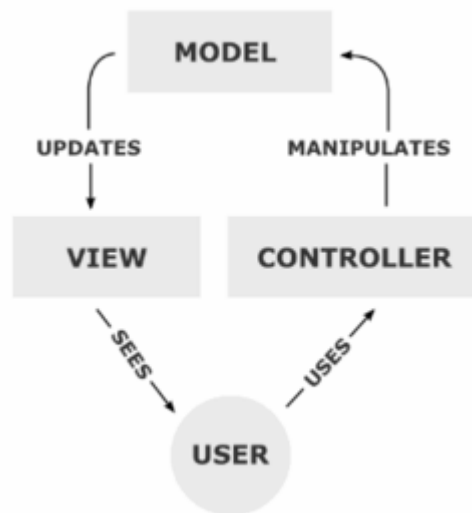


Fig 2. Representació model MVC

3.3 CODIFICACIÓ

El mòdul encarregat de la interfície frontal d'usuari es tracta d'una interfície totalment web i adaptada per a tauletes i dispositius mòbils, per tant *responsive*.

Per al seu desenvolupament s'utilitza PHP, CSS y Bootstrap perquè és adaptable a tot tipus de dispositius i pot obtenir fàcilment una interfície moderna. També utilitzen Javascript amb la llibreria d'AngularJS per fer més atractius els apartats de la web i actualitzar la informació de forma remota. La connexió amb la base de dades MySQL es fa mitjançant CodeIgniter, un framework de PHP, doncs no treballem amb ella de forma nativa.

El llenguatge de programació de l'algorisme de predicció utilitzat és PHP, ja que ja el tenim integrat a l'aplicació per desenvolupar el back-end i les seves funcionalitats.

3.4 TEST

A la fase de Tests s'apliquen dos tipus d'avaluacions. Per una banda es fan els tests de la codificació del propi sistema, és a dir, quan es realitza una tasca assignada, seguidament es fan tests de la mateixa per a buscar buggs i possibles error a la implementació.

Per altra banda, es troben les fases de proves que realitzen els propis usuaris finals al centre especial Prodis [5] de Terrassa, que s'ha ofert per a validar la nostra aplicació durant tot el seu cicle de desenvolupament, i gràcies als feedbacks del usuaris ens és possible millorar l'eficiència del nostre codi i algorisme.

4 PATRONS VERBALS

Per tal d'ampliar el llenguatge telegràfic en llenguatge natural i poder extreure la informació per a ser analitzada amb el predictor, l'analitzador utilitza una aproximació semàntica similar a la que es pot trobar a Pennington i McCoy (1998)[6].

En aquesta secció entrarem directament al mòdul de la predicció. Per poder fer una bona predicció, cal que primer introduïm el concepte de patró verbal. La idea bàsica és que el verb és la peça central de la frase, la quan s'adapta perfectament a les dependències gramàtiques on el verb és l'arrel, i la resta de complements de la sentència que necessiten ser omplerts són els rols semàntics que accepta aquest verb.

Els rols semàntics acceptats per cada verb es descriuen en un conjunt de patrons, els quals tenen un valor determinat que s'utilitza en el cas que un verb ha de portar obligatòriament (o opcionalment) aquest complement.

Una frase es pot representar com un graf dirigit format per un número indeterminat de nodes, que en general sol ser 3 o 4, on les frases més habituals segueixen l'estructura de subjecte, verb, complement.

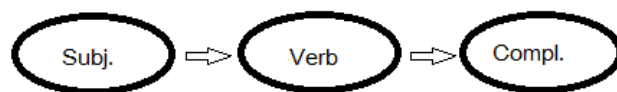


Fig 3. Representació subjecte, verb, complement

Aquesta és l'estructura habitual, però es pretèn donar llibertat i les frases a la pràctica poden venir en qualsevol ordre per part de l'usuari.

Un patró verbal està definit per les següents característiques:

1. IdVerb: Identificador del verb.
2. Pronominal: Indica si el verb és pronominal o no, un verb pronominal és aquell que té la propietat que el receptor és sempre el mateix subjecte.
3. Pseudoimpersonal: Indica si el verb és pseudoimpersonal.
4. Tipusdefrase: Indica el tipus de frase per defecte d'aquest patró.
5. Defaulttense: Indica el mode per defecte d'aquest patró.
6. Subj: Indica el tipus de subjecte que millor coordina amb aquest patró.
7. Subjdef: Indica el valor de la persona per defecte per aquest subjecte.
8. Theme: Indica si el rol semàntic de complement directe és obligatori, opcional o no pot aparèixer.
9. Themetipus: Indica el tipus de complement directe que millor coordina amb aquest patró.
10. Themedef: Si el complement directe és obligatori, indica el valor per defecte que ha de portar.
11. Themeprep: Indica la preposició que ha de portat el complement directe.
12. Receiver: Indica si el rol semàntic del receptor és obligatori, opcional o no pot aparèixer.
13. Receiverdef: Si el receptor és obligatori, indica el valor per defecte que ha de portar.
14. Receiverprep: Indica la preposició que ha de portar el receptor.
15. Benef: Indica si el rol semàntic del beneficiari és obligatori, opcional o no pot aparèixer.
16. Beneftipus: Indica el tipus del beneficiari.
17. Benefdef: Si el beneficiari és obligatori, indica el valor per defecte que ha de portar.

18. Benefprep: Indica la preposició que ha de portar el beneficiari.
19. Acomp: Indica si el complement circumstancial de companyia és opcional o no pot aparèixer.
20. Acompdef: Si el complement de companyia és opcional indica el seu valor per defecte.
21. Acompprep: Indica la preposició que ha de portar aquest complement circumstancial.
22. Tool: Indica si el rol semàntic d'instrument és opcional o no pot portar.
23. Tooldef: Si l'instrument és opcional, indica el seu valor per defecte.
24. Toolprep: Indica la preposició per defecte que ha de portar l'instrument.
25. Manera: Indica si el complement circumstancial de manera és opcional o no pot aparèixer.
26. Maneradef: Si aquest complement és opcional, indica el valor per defecte que ha de portar.
27. Maneratipus: Indica el tipus d'adverbi o adjectiu que ha de portar.
28. Locto: Indica si el rol semàntic de moviment (destí) és obligatori, opcional o no pot aparèixer.
29. Loctotipus: Indica el tipus gramatical que millor coordina amb el rol semàntic de moviment (destí).
30. Loctodef: Indica el valor per defecte per aquest complement de moviment (destí).
31. Loctoprep: Indica la preposició que ha de portar aquest complement de moviment (destí).
32. Locfrom: Indica si el rol semàntic de moviment (origen) és obligatori, opcional o no pot aparèixer.
33. Locfromtipus: Indica el tipus gramatical que millor coordina amb el rol semàntic de moviment (origen).
34. Locfromdef: Indica el valor per defecte per aquest complement de moviment (origen).
35. Locfromprep: Indica la preposició que ha de portar aquest complement de moviment (origen).
36. Locat: Indica si el rol semàntic de moviment (posició) és obligatori, opcional o no pot aparèixer.
37. Locatdef: Indica el valor per defecte per aquest complement de moviment (posició).
38. Locatprep: Indica la preposició que ha de portar aquest complement de moviment (posició).
39. Time: Indica si el rol de complement circumstancial de temps és obligatori, opcional o no pot aparèixer.
40. Expressio: Indica si hi ha una expressió que sempre porta aquest verb.
41. Subverb: Indica si aquest verb pot portar un altre verb

5 PREDICCIÓ

Un predictor és una funció que té com a entrada una seqüència de pictogrames (entrades per l'usuari) i la sortida és un conjunt de possibles pictogrames que poden seguir la seqüència de la frase entrada.

El predictor estimarà la probabilitat que aplica en cada cas en funció de les dades acumulades bé genèricament o bé per un usuari específic. Entre els predictors implementats trobem els següents:

1. Predictor de freqüència de llenguatge

Aquest és un predictor genèric. En aquest primer cas volem predir el pictograma segons l'ús genèric de les paraules a l'idioma. Si ens centrem en una llengua concreta, hi ha paraules que s'utilitzen més i d'altres que s'utilitzen menys o gairebé mai, doncs mitjançant aquest algorisme es prediuen aquelles que tenen més ús, es a dir, se suposa que serà les que l'usuari pot utilitzar amb més freqüència.

Per a solucionar aquest problema, es dona una puntuació (un percentatge) a cada pictograma de l'usuari en funció de l'ús que té en la seva llengua, i després s'ordenen en funció d'aquest valor afegit.

Els valors de les freqüències de les paraules a la llengua espanyola les obtenim de la RAE (Real Academia Española) [7], i com que l'espanyol i el català son semblants, utilitzem la mateixa proporció per la llengua en català. Consta d'una base de dades que inclou les 730.000 paraules més utilitzades (ordenades per freqüència absoluta i normalitzada) de la llengua espanyola. Així doncs per a cada pictograma, X , podem calcular la seva probabilitat d'ús, $p_1(X)$, a partir de la freqüència que proporciona la RAE.

2. Predictor de freqüència d'usuari

En aquest cas es tracta d'obtenir una predicció tenint en compte la freqüència en que l'usuari ha utilitzat cada pictograma per a generar una frase. L'històric s'emmagatzema des de la data en que l'usuari es registra a l'aplicació.

Cada cop que l'usuari genera una frase amb només un pictograma, emmagatzemem a una taula el nombre de vegades que ho ha fet, per a poder consultar el nombre de vegades que ha utilitzar aquest pictograma com a una frase. Així doncs per a cada pictograma, X , que aquest usuari ha fet servir es pot calcular la seva probabilitat d'ús, $p_u(X)$, que considera el nombre de vegades que ha fet servir aquesta paraula, dividit pel nombre de paraules que ha fet servir.

També s'emmagatzema una probabilitat condicionada en el cas que l'usuari seleccioni 2 pictogrames. És a dir, si selecciona el pictograma A i seguidament selecciona el pictograma B, guardem aquesta probabilitat condicionada $p_u(B|A)$ per a predir el pictograma B sempre que s'ha seleccionat l'A. Es calcula considerant el nombre de vegades que ha fet servir aquesta combinació de paraules.

També, s'emmagatzema una probabilitat condicionada entre 3 pictogrames, cada cop que selecciona el

pictograma A, seguidament selecciona el B, i després el pictograma C, també guardem aquesta probabilitat. Per a que quan l'usuari ha seleccionat el pictogrames A i B en aquest ordre, poguem predir el C. Aleshores construïm la probabilitat $p_u(C|A,C)$, que es calcula considerant el nombre de vegades que ha fet servir la combinació d'aquestes tres paraules.

3. Predictor de complement directe

Com hem remarcat a la definició dels patrons verbals, un factor molt important en la construcció de les freses és el verb. Per millorar el nostre algoritme hem de tenir en compte quin és el verb utilitzat, doncs n'hi ha alguns que han d'anar obligatòriament amb un complement directe, i una primera millora és, oferir el complement directe a aquells verbs que el necessiten.

Per tant, per a cada verb tenim un patró verbal que indica si ha de portar complement directe o no, i si l'ha de portar, indiquem de quin tipus ha de ser; animal, humà, objecte, menjar, etc. I per a cada pictograma tenim un atribut que ens indica de quin tipus es (humà, menjar, objecte, etc), doncs es prediuen aquells pictogrames que fan referència als tipus de pictograma que accepta com a complement directe.

4. Predictor d'altres complements

L'objectiu d'aquest predictor és el mateix del predictor de verbs I, la diferència és que amb l'anterior predictor només predim els complements directes, amb aquest nou predim altres complements que també pot requerir el verb, com pot ser un complement circumstancial de lloc, de temps, de mode o un adjectiu.

Seguint el mateix esquema de l'anterior predictor, per a cada verb tenim un patró verbal que indica si pot portar algun complement que no sigui el complement directe, indiquem de quin tipus es i hem de predir aquells pictogrames que fan referència als tipus de pictograma que accepta aquest verb.

5. Predictor inicial

Aquest és un dels mètodes de predicció més complexes a implementar, quan l'usuari encara no ha introduït res, si no tenim dades d'aprenentatge, què predim? hem d'idear les millors opcions possibles de pictogrames a visualitzar.

Per a resoldre aquest problema, ja que cada usuari té una aplicació personalitzada amb un vocabulari concret, aquest vocabulari s'introdueix a la base de dades amb unes freqüències definides per que aparegui a la barra de predicció com si l'usuari ja les hagués utilitzat.

6. Predictor de context

És un mètode per predir els pictogrames que l'usuari ha utilitzat des del dia d'ahir fins el moment actual, per ordre de repeticions.

És a dir, cada cop que l'usuari utilitza un pictograma per a generar una frase, aquest s'emmagatzema juntament amb la data de quan es va utilitzar, simplement s'ha de fer la consulta de quants cops ho ha fet durant l'últim dia per a saber la seva probabilitat d'ús.

7. Predictor final

No volem que l'usuari seleccioni a cada predicció quin vol utilitzar, sinó que nosaltres fem una barreja de tots ells per a obtenir un únic algoritme que integri totes les funcionalitats de manera coherent. Per aconseguir això hem de tractar dos casos concrets en el moment de la predicció:

- ❖ Encara no s'ha introduït cap

Es fa la predicció en funció dels algorismes predictors de freqüència i de context, però en primer lloc es mostren els subjectes tu i jo. Un cop s'ha introduït el subjecte es prediuen els verbs més utilitzats, després es continua amb la predicció dels mateixos algorismes de freqüència i context.

- ❖ Quan s'ha introduït un verb

Ara que tenim un verb es fa la predicció en funció dels algorismes predictors que treballen amb els complements verbals, doncs són els que prediuen temes relacionats amb el verb seleccionat.

S'implementa una jerarquia de complements que pot portar un verb i determinar quins són aquells que tenen més pes.

També es filtren els resultats de tots dos grups, per que no apareguin pictogrames repetits en tots dos.

6 DADES D'APRENTAGE

Trobem dos tipus de dades que es fan servir per fer les prediccions; dades genèriques i dades específiques.

Les dades genèriques són tota una llista de les freqüències d'ús (valors constants) en les llengües en general, en el nostre cas de d'espanyol i ja que l'espanyol i el català son semblants, utilitzem la mateixa proporció per la llengua en català.

Les dades específiques són les freqüències de l'usuari per a cada ús d'un pictograma en concret (o cadena de pictogrames determinat), és a dir, són les dades que el sistema utilitza per a aprendre.

7 RESULTATS

En aquesta secció il·lustrem alguns exemples del comportament de l'aplicació. En primer lloc observarem com és la interfície de pictogrames (distribució inicial) per a un usuari determinat. A dalt de tot es mostren els pictogrames de la frase que s'està generant, i a la dreta l'opció de borrar l'últim pictograma o la frase sencera. Al panell central es distribueixen els pictogrames possibles, en aquest cas es troben dins de subgrups de pictogrames (persones, verbs, llocs, etc).

A l'esquerra es troba la barra de predicció. De forma fixa inicialment es reserven els dos primers espais per als pronoms personals *jo* i *tu*, ja que és molt segur que un d'aquests sigui el subjecte de la frase. Seguidament, es mostren els pictogrames amb més freqüència d'aparició a la primera posició de la frase:

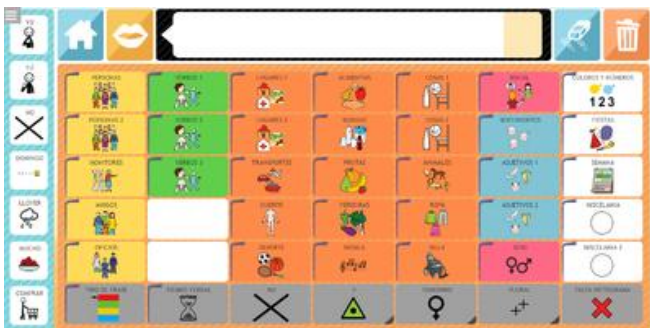


Fig 4. Distribució inicial del panell

A continuació tenim un exemple amb verb, una de les parts més complexes de la predicció, ja que s'ha d'analitzar el patró verbal per a fer una predicció adient. Per exemple en el cas del verb *menjar*, aquest precisa (de forma optativa) d'un complement directe de tipus menjar, d'un circumstancial de lloc i d'un adverbial modal. Per a avaluar la predicció segons el patró verbal, si tenim n posicions a la barra de predicció (es pot configurar el nombre màxim per a cada usuari) ens hem de fixar sempre en la última meitat de pictogrames de la barra de predicció, ja que la primera meitat correspon a l'ús de l'usuari, independentment del verb.

Un cop tenim tota aquesta informació, es pot observar que només es prediuen menjars, ja que aquest verb *menjar* és molt probable que necessiti algun complement directe de tipus menjar:

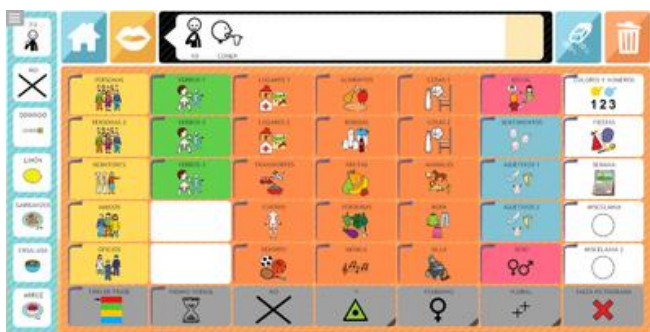


Fig 5. Predictor patró verb menjar actiu

Ara imaginem que seleccionem l'arròs, doncs el sistema detecta que ja s'ha seleccionat un menjar i ja no prediu menjar sinó altres complements que pot portar aquest verb (com un complement circumstancial de lloc), i en efecte, a continuació només ens prediu llocs:

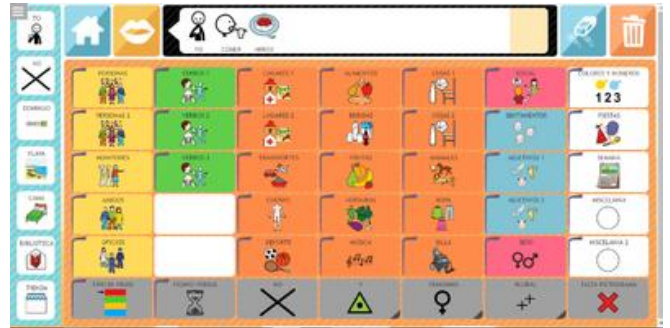


Fig 6. Predictor patró verb menjar actiu amb menjar

Però, que hagués passat si l'usuari no fes cas de la predicció i en comptes d'un menjar, ja ha seleccionat el pictograma del lloc? Doncs la predicció de menjars encara es manté, ja que se *suposa que menja alguna cosa*.



Fig 7. Predictor patró verb menjar sense menjar

8 CONCLUSIÓ

Després de treballar durant mesos en aquest projecte, és gratificant haver obtingut bons resultats, definitivament s'han assolit els objectius fixats.

En aquest projecte hem construït un sistema de compressió-expansió que expandeix llenguatge telegràfic en llenguatge natural en català i castellà, en el context d'un programari de comunicació augmentativa i alternativa (CAA), on els dos components del sistema són l'analitzador de dependències sintàctic-semàntic en el qual es basa el predictor, i un generador que construeix la frase final.

En conclusió podem dir que el sistema de predicció funciona bé i pot reconèixer tots els patrons verbals per a saber quins complements predir en cada cas, i també té en compte quins pictogrames es troben a la barra de predicció i a la frase que s'està generant, per no predir pictogrames repetits (que ja es troben a la barra de predicció o a la frase pendent de generar).

I les proves amb usuaris finals ha sigut de gran ajuda per a testear l'aplicació i trobar errors o modificar els algorismes i proposar noves alternatives segons les necessitats dels usuaris.

AGRAÏMENTS

M'agradaria donar les gràcies a Joan Pahisa, el meu mentor a l'empresa Telefónica i a la Maria Vanrell, la meva tutora del projecte per els seus consells, suggeriments i recomanacions a prendre de cara al desenvolupament del projecte, però especialment per la seva paciència.

També vull agrair al centre Prodis de Terrassa i a la resta de membres de l'equip de desenvolupament, ja que sense ells tampoc hauria arribat fins aquí, i especialment a Telefónica per aquesta oportunitat que m'han ofert.

REFERÈNCIES

- [1] <http://www.letmetalk.info/>
- [2] <https://itunes.apple.com/us/app/proloquo2go-symbol-based-aac/id308368164?mt=8>
- [3] <http://www.pictoconnection.com/>
- [4] <https://ca.wikipedia.org/wiki/Model-Vista-Controlador>
- [5] <http://prodis.cat/ca/>
- [6] <https://www.eecis.udel.edu/~mccoy/publications/1998/McCoy98-ATBook.pdf>
- [7] <http://corpus.rae.es/lfrecuencias.html>