

# Métricas de mimetización acústico-prosódica en hablantes y su relación con rasgos sociales de diálogos

Alfred Hofmann\*, Ursula Barth, Ingrid Haas, Frank Holzwarth,  
Anna Kramer, Leonie Kunz, Christine Reiß,  
Nicole Sator, Erika Siebert-Cole, and Peter Straßer

Springer-Verlag, Computer Science Editorial,  
Tiergartenstr. 17, 69121 Heidelberg, Germany  
{alfred.hofmann, ursula.barth, ingrid.haas, frank.holzwarth,  
anna.kramer, leonie.kunz, christine.reiss, nicole.sator,  
erika.siebert-cole, peter.strasser, lncs}@springer.com  
<http://www.springer.com/lncs>

**Resumen** Los sistemas de diálogo humano-computadora son cada vez más frecuentes, y sus aplicaciones comprenden una amplia gama de rubros: desde aplicaciones móviles, motores de búsqueda, juegos o tecnologías de asistencia para ancianos y discapacitados. Si bien es cierto que estos sistemas logran captar buena parte de la dimensión lingüística de la comunicación humana, tienen un déficit importante a la hora de procesar y transmitir el aspecto superestructural de la comunicación oral, que radica en el intercambio de afecto, emociones, actitudes y otras intenciones de los participantes.

El *entrainment* (mimetización) es un fenómeno inconsciente que se manifiesta a través de la adaptación de posturas, forma de hablar, gestos faciales y otros comportamientos entre dos o más interactores. A su vez, la ocurrencia de esta mimetización está fuertemente emparentada con el sentimiento de empatía y compenetración entre los participantes. En nuestro caso, nos es de interés el *entrainment* sobre las variables acústico-prosódicas, como el tono, intensidad, y otras.

En el presente trabajo, nos proponemos explorar y refinar una métrica del *entrainment* acústico-prosódico definida en trabajos previos. Analizamos la relación entre los valores obtenidos y las percepciones sociales que terceros tienen sobre las conversaciones, en un corpus de diálogos orientados a tareas en inglés.

**Keywords:** Procesamiento del Habla, Series de Tiempo, Entrainment, Regresión Lineal

---

\* Please note that the LNCS Editorial assumes that all authors have used the western naming convention, with given names preceding surnames. This determines the structure of the names in the running heads and the author index.

## 1. Introduction

Los sistemas de diálogo humano-computadora son cada vez más frecuentes, y sus aplicaciones comprenden una amplia gama de rubros: desde aplicaciones móviles, motores de búsqueda, juegos o tecnologías de asistencia para ancianos y discapacitados. Si bien es cierto que estos sistemas logran captar la dimensión lingüística de la comunicación humana, tienen un déficit importante a la hora de procesar y transmitir el aspecto superestructural de la comunicación oral, que radica en el intercambio de afecto, emociones, actitudes y otras intenciones de los participantes. Este problema puede verse en cualquier sistema que interactúe sintetizando lenguaje humano: por ejemplo, las aplicaciones telefónicas que atienden automáticamente a sus clientes [PH05,RBL<sup>+</sup>06]. Stanley Kubrick y Arthur C. Clarke predijeron esto a la perfección, cuando en “2001: Una Odisea en el Espacio” (1968) dotaron a *HAL* de una voz monótona y robótica, casi lobotomizada. Otro problema grave que sufren estos sistemas humano-computadora es que asumen que sus interacciones de “a turnos”, cuando las conversaciones entre humanos suelen distar bastante de ese modelo.

Dentro de las cualidades del lenguaje oral, una de las más distintivas es la *prosodia*, qué es la dimensión que capta *cómo* se dicen las cosas, en contraposición a *qué* se está manifestando. Posee varias componentes acústico-prosódicas: por ejemplo, el tono o pitch, la intensidad o volumen, la calidad de la voz, la velocidad del habla y otras. Un manejo adecuado de estas componentes es lo que, hoy día, distingue una voz humana de una artificial. Esta carencia de habilidad sobre la prosodia conlleva cierta dificultad en la interacción con agentes conversacionales, que suelen ser calificados como “mecánicos” o “extraños” en su forma de comunicarse. [RBL<sup>+</sup>06,WRWN05]

En pos de mejorar el entendimiento entre agentes conversacionales y sus usuarios, resulta de vital importancia poder entender y modelar las variaciones prosódicas de la comunicación oral. Esto se traduciría tanto en una mejor apreciación de lo que quiere comunicar el usuario, como en una mayor naturalidad de la voz sintetizada por el agente.

### 1.1. Mimetización

En la literatura de Psicología del Comportamiento se ha observado con frecuencia que, bajo ciertas condiciones, cuando una persona mantiene una conversación, ésta modifica su manera de actuar aproximándola a la de su interlocutor. En una reseña de este tema se describe a este fenómeno como una “imitación no consciente de posturas, maneras, expresiones faciales y otros comportamientos del compañero interaccional” [CB99, p. 893] y conjeturan que es más fuerte en individuos con empatía disposicional. En otras palabras, personas con predisposición a buscar la aceptación social modifican su comportamiento en forma más marcada para aproximarlo a sus interlocutores.

Esta modificación del comportamiento ha sido observada también en la manera de hablar. Por ejemplo, los interlocutores adoptan las mismas formas léxicas para referirse a las cosas, negociando tácitamente descripciones compartidas, en

especial para cosas que resulten poco familiares [Bre96]. Estudios más recientes sugieren que esto también es cierto para el uso de estructuras sintácticas [RKM06]. Este fenómeno subconsciente es conocido como mimetización, alineamiento, adaptación o convergencia y también con el término inglés *entrainment*. Se ha mostrado que juega un rol importante en la coordinación de diálogos, facilitando tanto la producción como la comprensión del habla en los seres humanos [NGH08, GBLH15]. En nuestro caso, nos interesa principalmente el *entrainment* de la prosodia.

### 1.2. Midiendo la mimetización

Muchos estudios han examinado la mimetización prosódica, listados en [DLSVC14]. Un número importante de ellos se han basado en la premisa de la mimetización como un fenómeno lineal, en el cual la convergencia “va sucediendo” a lo largo de la conversación [BSD95]. Estos estudios dividen las conversaciones en varias partes, y verifican que la diferencia absoluta entre los valores medios (de las variables acústico-prosódicas) y sus desviaciones se aproxime en las últimas partes de la interacción. Sin embargo, este enfoque de la mimetización niega su faceta dinámica: los interlocutores pueden estar inactivos y luego hablar, pueden pasar por varias etapas como escuchar, pensar, discutir un punto, etc. En [LH11] se reportó que éste es un fenómeno no solamente lineal, sino también dinámico, donde los interlocutores van coincidiendo en el análisis por turnos.

Un problema común que surge a la hora de calcular estas métricas es el hecho de que las conversaciones no están alineadas en el tiempo, ni se dan en turnos de duración constante. Nos preguntamos entonces qué partes del diálogo de un hablante deberían compararse con qué otras partes de su par. Un enfoque de comparar interlocuciones uno a uno es demasiado simple y no captura situaciones de diálogo reales, mucho más dinámicas y con solapamiento casi constante.

Para atacar estos inconvenientes, utilizamos el método *TAMA* (Time Aligned Moving Average) [KDW<sup>+</sup>08], que consiste en separar en ventanas de tiempo el diálogo, y promediar los valores de las variables prosódicas dentro de cada una. Este método es muy similar a aplicar un filtro de Promedio Móvil (Moving Average), lo que da el nombre a la técnica. Al separar el diálogo en ventanas de tiempo, podemos construir dos series de tiempo en base a cada interlocutor. Estas abstracciones son mucho más tratables que tener una secuencia de elocuciones de parte de cada hablante, y nos permiten efectuar análisis bien conocidos, uno de los cuáles nos permite construir una medida del *entrainment*.

### 1.3. Objetivo del estudio

En el presente estudio, aplicamos la técnica de *TAMA* para definir dos métricas de *entrainment*. Utilizamos un corpus de diálogo entre dos participantes angloparlantes, quienes interactúan mediante un juego a través de computadoras. El corpus ha sido anotado manualmente con variables que describen la percepción social de la conversación; por ejemplo: ¿el sujeto parece comprometido con el juego? ¿al sujeto no le agrada su compañero?

Luego, veremos si existe, para cada una de las variables acústico-prosódicas, alguna relación significativa entre las métricas definidas y las percepciones sociales sobre las conversaciones. Uno esperaría que valores altos de nuestras métricas del *entrainment* se relacionen con valores altos de variables sociales positivas, tales como mostrarse colaborativo o compenetrado en la tarea.

#### 1.4. Checking the PDF File

Kindly assure that the Contact Volume Editor is given the name and email address of the contact author for your paper. The Contact Volume Editor uses these details to compile a list for our production department at SPS in India. Once the files have been worked upon, SPS sends a copy of the final pdf of each paper to its contact author. The contact author is asked to check through the final pdf to make sure that no errors have crept in during the transfer or preparation of the files. This should not be seen as an opportunity to update or copyedit the papers, which is not possible due to time constraints. Only errors introduced during the preparation of the files will be corrected.

This round of checking takes place about two weeks after the files have been sent to the Editorial by the Contact Volume Editor, i.e., roughly seven weeks before the start of the conference for conference proceedings, or seven weeks before the volume leaves the printer's, for post-proceedings. If SPS does not receive a reply from a particular contact author, within the timeframe given, then it is presumed that the author has found no errors in the paper. The tight publication schedule of LNCS does not allow SPS to send reminders or search for alternative email addresses on the Internet.

In some cases, it is the Contact Volume Editor that checks all the final pdfs. In such cases, the authors are not involved in the checking phase.

#### 1.5. Additional Information Required by the Volume Editor

If you have more than one surname, please make sure that the Volume Editor knows how you are to be listed in the author index.

#### 1.6. Copyright Forms

The copyright form may be downloaded from the "For Authors" (Information for LNCS Authors) section of the LNCS Website: [www.springer.com/lncs](http://www.springer.com/lncs). Please send your signed copyright form to the Contact Volume Editor, either as a scanned pdf or by fax or by courier. One author may sign on behalf of all of the other authors of a particular paper. Digital signatures are acceptable.

## 2. Paper Preparation

Springer provides you with a complete integrated L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X document class (`l1ncs.cls`) for multi-author books such as those in the LNCS series. Papers

not complying with the LNCS style will be reformatted. This can lead to an increase in the overall number of pages. We would therefore urge you not to squash your paper.

Please always cancel any superfluous definitions that are not actually used in your text. If you do not, these may conflict with the definitions of the macro package, causing changes in the structure of the text and leading to numerous mistakes in the proofs.

If you wonder what L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X is and where it can be obtained, see the “*LaTeX project site*” (<http://www.latex-project.org>) and especially the webpage “*How to get it*” (<http://www.latex-project.org/ftp.html>) respectively.

When you use L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X together with our document class file, `lncs.cls`, your text is typeset automatically in Computer Modern Roman (CM) fonts. Please do *not* change the preset fonts. If you have to use fonts other than the preset fonts, kindly submit these with your files.

Please use the commands `\label` and `\ref` for cross-references and the commands `\bibitem` and `\cite` for references to the bibliography, to enable us to create hyperlinks at these places.

For preparing your figures electronically and integrating them into your source file we recommend using the standard L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X `graphics` or `graphicx` package. These provide the `\includegraphics` command. In general, please refrain from using the `\special` command.

Remember to submit any further style files and fonts you have used together with your source files.

**Headings.** Headings should be capitalized (i.e., nouns, verbs, and all other words except articles, prepositions, and conjunctions should be set with an initial capital) and should, with the exception of the title, be aligned to the left. Words joined by a hyphen are subject to a special rule. If the first word can stand alone, the second word should be capitalized.

Here are some examples of headings: “Criteria to Disprove Context-Freeness of Collage Language”, “On Correcting the Intrusion of Tracing Non-deterministic Programs by Software”, “A User-Friendly and Extendable Data Distribution System”, “Multi-flip Networks: Parallelizing GenSAT”, “Self-determinations of Man”.

**Lemmas, Propositions, and Theorems.** The numbers accorded to lemmas, propositions, and theorems, etc. should appear in consecutive order, starting with Lemma 1, and not, for example, with Lemma 11.

## 2.1. Figures

For L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X users, we recommend using the *graphics* or *graphicx* package and the `\includegraphics` command.

Please check that the lines in line drawings are not interrupted and are of a constant width. Grids and details within the figures must be clearly legible

and may not be written one on top of the other. Line drawings should have a resolution of at least 800 dpi (preferably 1200 dpi). The lettering in figures should have a height of 2 mm (10-point type). Figures should be numbered and should have a caption which should always be positioned *under* the figures, in contrast to the caption belonging to a table, which should always appear *above* the table; this is simply achieved as matter of sequence in your source.

Please center the figures or your tabular material by using the `\centering` declaration. Short captions are centered by default between the margins and typeset in 9-point type (Fig. 1 shows an example). The distance between text and figure is preset to be about 8 mm, the distance between figure and caption about 6 mm.

To ensure that the reproduction of your illustrations is of a reasonable quality, we advise against the use of shading. The contrast should be as pronounced as possible.

If screenshots are necessary, please make sure that you are happy with the print quality before you send the files.

**Figure 1.** One kernel at  $x_s$  (*dotted kernel*) or two kernels at  $x_i$  and  $x_j$  (*left and right*) lead to the same summed estimate at  $x_s$ . This shows a figure consisting of different types of lines. Elements of the figure described in the caption should be set in italics, in parentheses, as shown in this sample caption.

Please define figures (and tables) as floating objects. Please avoid using optional location parameters like “[h]” for “here”.

*Remark 1.* In the printed volumes, illustrations are generally black and white (halftones), and only in exceptional cases, and if the author is prepared to cover the extra cost for color reproduction, are colored pictures accepted. Colored pictures are welcome in the electronic version free of charge. If you send colored figures that are to be printed in black and white, please make sure that they really are legible in black and white. Some colors as well as the contrast of converted colors show up very poorly when printed in black and white.

## 2.2. Formulas

Displayed equations or formulas are centered and set on a separate line (with an extra line or halfline space above and below). Displayed expressions should be numbered for reference. The numbers should be consecutive within each section or within the contribution, with numbers enclosed in parentheses and set on the right margin – which is the default if you use the *equation* environment, e.g.,

$$\psi(u) = \int_o^T \left[ \frac{1}{2} (\Lambda_o^{-1}u, u) + N^*(-u) \right] dt. \quad (1)$$

Equations should be punctuated in the same way as ordinary text but with a small space before the end punctuation mark.

### 2.3. Footnotes

The superscript numeral used to refer to a footnote appears in the text either directly after the word to be discussed or – in relation to a phrase or a sentence – following the punctuation sign (comma, semicolon, or period). Footnotes should appear at the bottom of the normal text area, with a line of about 2 cm set immediately above them.<sup>1</sup>

### 2.4. Program Code

Program listings or program commands in the text are normally set in typewriter font, e.g., CMTT10 or Courier.

*Example of a Computer Program*

```
program Inflation (Output)
{Assuming annual inflation rates of 7%, 8%, and 10%,...
 years};
const
  MaxYears = 10;
var
  Year: 0..MaxYears;
  Factor1, Factor2, Factor3: Real;
begin
  Year := 0;
  Factor1 := 1.0; Factor2 := 1.0; Factor3 := 1.0;
  WriteLn('Year 7% 8% 10%'); WriteLn;
  repeat
    Year := Year + 1;
    Factor1 := Factor1 * 1.07;
    Factor2 := Factor2 * 1.08;
    Factor3 := Factor3 * 1.10;
    WriteLn(Year:5,Factor1:7:3,Factor2:7:3,Factor3:7:3)
  until Year = MaxYears
end.
```

(Example from Jensen K., Wirth N. (1991) Pascal user manual and report. Springer, New York)

### 2.5. Citations

For citations in the text please use square brackets and consecutive numbers: provided automatically by L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X's \cite ... \bibitem mechanism.

---

<sup>1</sup> The footnote numeral is set flush left and the text follows with the usual word spacing.

## 2.6. Page Numbering and Running Heads

There is no need to include page numbers. If your paper title is too long to serve as a running head, it will be shortened. Your suggestion as to how to shorten it would be most welcome.

## 3. LNCS Online

The online version of the volume will be available in LNCS Online. Members of institutes subscribing to the Lecture Notes in Computer Science series have access to all the pdfs of all the online publications. Non-subscribers can only read as far as the abstracts. If they try to go beyond this point, they are automatically asked, whether they would like to order the pdf, and are given instructions as to how to do so.

Please note that, if your email address is given in your paper, it will also be included in the meta data of the online version.

## 4. BibTeX Entries

The correct BibTeX entries for the Lecture Notes in Computer Science volumes can be found at the following Website shortly after the publication of the book: <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/journals/lncs.html>

**Acknowledgments.** The heading should be treated as a subsubsection heading and should not be assigned a number.

## 5. The References Section

In order to permit cross referencing within LNCS-Online, and eventually between different publishers and their online databases, LNCS will, from now on, be standardizing the format of the references. This new feature will increase the visibility of publications and facilitate academic research considerably. Please base your references on the examples below. References that don't adhere to this style will be reformatted by Springer. You should therefore check your references thoroughly when you receive the final pdf of your paper. The reference section must be complete. You may not omit references. Instructions as to where to find a fuller version of the references are not permissible.

We only accept references written using the latin alphabet. If the title of the book you are referring to is in Russian or Chinese, then please write (in Russian) or (in Chinese) at the end of the transcript or translation of the title.



## Referencias

### Referencias

- [Bre96] Susan E Brennan. Lexical entrainment in spontaneous dialog. *Proceedings of ISSD*, 96:41–44, 1996.
- [BSD95] Judee K Burgoon, Lesa A Stern, and Leesa Dillman. Interpersonal adaptation: Dyadic interaction patterns. 1995.
- [CB99] Tanya L Chartrand and John A Bargh. The chameleon effect: the perception–behavior link and social interaction. *Journal of personality and social psychology*, 76(6):893, 1999.
- [DLSVC14] Céline De Looze, Stefan Scherer, Brian Vaughan, and Nick Campbell. Investigating automatic measurements of prosodic accommodation and its dynamics in social interaction. *Speech Communication*, 58:11–34, 2014.
- [GBLH15] Agustín Gravano, Štefan Benuš, Rivka Levitan, and Julia Hirschberg. Backward mimicry and forward influence in prosodic contour choice in standard american english. In *Sixteenth Annual Conference of the International Speech Communication Association*, 2015.
- [KDW<sup>+</sup>08] Spyros Kousidis, David Dorran, Yi Wang, Brian Vaughan, Charlie Cullen, Dermot Campbell, Ciaran McDonnell, and Eugene Coyle. Towards measuring continuous acoustic feature convergence in unconstrained spoken dialogues. 2008.
- [LH11] Rivka Levitan and Julia Bell Hirschberg. Measuring acoustic-prosodic entrainment with respect to multiple levels and dimensions. 2011.
- [NGH08] Ani Nenkova, Agustín Gravano, and Julia Hirschberg. High frequency word entrainment in spoken dialogue. In *Proceedings of the 46th annual meeting of the association for computational linguistics on human language technologies: Short papers*, pages 169–172. Association for Computational Linguistics, 2008.
- [PH05] Roberto Pieraccini and Juan Huerta. Where do we go from here? research and commercial spoken dialog systems. In *6th SIGdial Workshop on Discourse and Dialogue*, 2005.
- [RBL<sup>+</sup>06] Antoine Raux, Dan Bohus, Brian Langner, Alan W Black, and Maxine Eskenazi. Doing research on a deployed spoken dialogue system: one year of let’s go! experience. In *INTERSPEECH*, 2006.
- [RKM06] David Reitter, Frank Keller, and Johanna D Moore. Computational modelling of structural priming in dialogue. In *Proceedings of the Human Language Technology Conference of the NAACL, Companion Volume: Short Papers*, pages 121–124. Association for Computational Linguistics, 2006.
- [WRWN05] Nigel G Ward, Anaïs G Rivera, Karen Ward, and David G Novick. Root causes of lost time and user stress in a simple dialog system. In *Ninth European Conference on Speech Communication and Technology*, 2005.

## Appendix: Springer-Author Discount

LNCS authors are entitled to a 33.3% discount off all Springer publications. Before placing an order, the author should send an email, giving full details of

his or her Springer publication, to `orders-HD-individuals@springer.com` to obtain a so-called token. This token is a number, which must be entered when placing an order via the Internet, in order to obtain the discount.

## 6. Checklist of Items to be Sent to Volume Editors

Here is a checklist of everything the volume editor requires from you:

- ☐ The final L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X source files
- ☐ A final PDF file
- ☐ A copyright form, signed by one author on behalf of all of the authors of the paper.
- ☐ A readme giving the name and email address of the corresponding author.