



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Universitat Politècnica de València
Departament de Sistemes Informàtics i Computació

Diverse Contributions to Implicit Human-Computer Interaction

by **Luis A. Leiva**

A thesis submitted in fulfillment for the
degree of Doctor of Philosophy in Computer Science

supervised by
Prof. **Roberto Vivó** and Prof. **Enrique Vidal**

November 8, 2012

PhD Thesis

Available online at <http://personales.upv.es/luileito/phd/>.

Typesetted in L^AT_EX (actually a mixture of T_EX and L^AT_EX 2_ε).

Cover design by Luis A. Leiva. Iceberg photography © Ralph A. Clevenger (<http://www.ralphclevenger.com>, reproduced with permission).

Most parts of this work were supported by the Spanish Ministry of Science and Education (MEC/MICINN) under the research programme MIPRCV: “Consolider Ingenio 2010” (CSD2007-00018). Other parts have been also supported by the project TIN2009-14103-C03-03 and CasMaCat Project 287576 (FP7 ICT-2011.4.2).



<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>

You are free to share (copy, distribute and transmit the work) and remix (adapt) the contents of this document under the following condition: *You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor (but not in any way that suggests that they endorse you or your use of the work).*

Board Committee

Member, Reviewer

Prof. Albrecht Schmidt
Universität Stuttgart

Member, Reviewer

Prof. Antonio Krüger
Universität des Saarlandes

Member, Reviewer

Dr. Toni Granollers
Universitat de Lleida

President

Prof. Filiberto Pla
Universitat Jaume I

Secretary

Dr. M. Carmen Juan
Universitat Politècnica de València

Valencia, November 8, 2012

Abstract / Resumen / Resum

While interacting with computer applications, we submit an important amount of information unconsciously. By studying these implicit interactions we can better understand what characteristics of user interfaces add benefit (or not), thus deriving design implications for future systems.

The main advantage of processing implicit input data from the user is that every interaction with the system can contribute to enhance its utility. Additionally, such an input removes the cost of having to interrupt the user to submit explicit information that can be little related to the purpose of using the system. On the contrary, sometimes implicit interactions do not provide clear and concrete data. As such, how this source of information is managed deserves a special attention.

This research is two-fold: 1) to apply new perspectives both to the design and the development of tools that can take advantage from user's implicit interactions, and 2) provide researchers with a series of evaluation methodologies of interactive systems that are ruled by such implicit input methods. Five scenarios are discussed to illustrate the feasibility and suitability of this thesis framework. Empirical results with real users show that tapping implicit interactions is a useful asset to enhance computer systems in a variety of ways.

Al interactuar con aplicaciones informáticas, proporcionamos inconscientemente una cantidad importante de información. Mediante el estudio de estas interacciones implícitas es posible entender qué características de la interfaz de usuario son beneficiosas (o no), derivando así en implicaciones para el diseño de futuros sistemas interactivos.

La principal ventaja de procesar datos de entrada implícitos del usuario es que cualquier interacción con el sistema puede contribuir a mejorar su utilidad. Además, dichos datos eliminan el coste de tener que interrumpir al usuario para que envíe información explícitamente sobre un tema que en principio no tiene por qué guardar relación con la propia intención de utilizar el sistema. Por el contrario, en ocasiones las interacciones implícitas no proporcionan datos claros y concretos. Por ello, hay que prestar especial atención a la manera de gestionar esta fuente de información.

El propósito de esta investigación es doble: 1) aplicar una nueva visión tanto al diseño como al desarrollo de aplicaciones que puedan aprovechar consecuentemente a las interacciones implícitas del usuario, y 2) proporcionar una serie de metodologías para la evaluación de dichos sistemas interactivos. Cinco escenarios sirven para ilustrar la viabilidad y la adecuación del marco de trabajo de

la tesis. Resultados empíricos con usuarios reales demuestran que aprovechar la interacción implícita es un medio tanto adecuado como conveniente para mejorar de múltiples maneras los sistemas interactivos.

Quan interactuem amb aplicacions informàtiques, proporcionem inconscientment una quantitat important d'informació. Mitjançant l'estudi d'aquestes interaccions implícites és possible entendre quines característiques de la interfície d'usuari són beneficioses (o no), i derivar així en implicacions per al disseny de futurs sistemes interactius.

El principal avantatge de processar dades d'entrada implícites de l'usuari és que qualsevol interacció amb el sistema pot contribuir a millorar la seua utilitat. A més a més, aquestes dades eliminen el cost d'haver d'interrompre l'usuari perquè envie informació explícitament sobre un tema que en principi no té per què guardar relació amb la pròpia intenció d'utilitzar el sistema. No obstant això, a vegades les interaccions implícites no proporcionen dades clares i precises. Per tant, cal prestar especial atenció a la manera de gestionar aquesta font d'informació.

El propòsit d'aquesta investigació és doble: 1) aplicar una nova visió al disseny i al desenvolupament alhora d'aplicacions que puguin reaccionar conseqüentment a les interaccions implícites de l'usuari, i 2) proporcionar una sèrie de metodologies per l'avaluació d'aquests sistemes interactius. Cinc escenaris il·lustren la viabilitat i l'adequació del marc de treball de la tesi. Resultats empírics amb usuaris reals demostren que aprofitar les interaccions implícites és un mitjà adequat i convenient alhora per a millorar de múltiples maneres els sistemes interactius.

Acknowledgments

Ya han pasado 5 años desde que inicié mi andadura por el mundo de la investigación, al matricularme en el programa de doctorado que ha dado lugar a esta tesis. Unas cuantas publicaciones y un sinfín de anécdotas dan buena parte de una breve pero intensa trayectoria predoctoral que he tenido la suerte de completar. En verdad me considero afortunado al respecto por una larga serie de razones, de las cuales comentaré a continuación aquellas que considero especialmente relevantes.

En primer lugar, me considero afortunado por haber tenido de directores de tesis no uno sino dos catedráticos de la talla de Roberto Vivó y Enrique Vidal. He de agradecer a Roberto por haber depositado su confianza en mi desde el primer momento en que le propuse hacer el DEA bajo su tutela. Me ha dado un margen de maniobra sin precedentes que me ha permitido evolucionar favorablemente como investigador. Por supuesto también he de agradecer a Enrique por darme la oportunidad de trabajar en el grupo PRHLT, lo que ha supuesto y sigue suponiendo un apasionante reto profesional. Es una suerte tenerlo como co-director del grupo—junto con Francisco Casacuberta, otra persona de la que uno solo puede hablar bien.

Desde aquí, mi más sincero agradecimiento a toda la gente con la que he tenido la oportunidad de trabajar durante todo este tiempo. En especial, quiero agradecer a las siguientes personas por haberme permitido participar en el desarrollo de unos novedosos prototipos: Verónica Romero (CATTI), Daniel Ortiz (IMT), Ricardo Sánchez (IPP), Mauricio Villegas y Roberto Paredes (RISE) y Alejandro Toselli (KWS). Mención de honor para Vicent Alabau, cuya creatividad y buen hacer parecen no tener límites. Hemos compartido muy buenos momentos, y sobre todo numerosas y fructíferas discusiones que se han materializado en importantes publicaciones conjuntas.

También quiero mencionar al resto de mis compañeros del ITI/DSIC, porque gracias a ellos el día a día en el entorno de trabajo es más que reconfortante. Así de repente me vienen a la mente Jesús González, Nico Serrano, Elsa Cubel, Antonio Lagarda, Esperanza Donat, Germán Sanchis, Jesús Andrés, Jorge Civera, José Ramón “maestro” Navarro y las nuevas generaciones: Paco Álvaro, Dani Martín-Albo, Vicent Bosch, Mercedes García, Joan Albert y Miguel del Agua, entre otros. A los que se me olvidan, quedan agradecidos por extensión ;)

I would also like to thank the primary reviewers of this thesis: Albrecht Schmidt, Antonio Krüger and Toni Granollers, who accepted without hesitation to review and join the board committee on the defense day. I have to admit that Albrecht has played inadvertently an important role in this thesis. Thanks to his research work, I started to get interested in the topic of the thesis. But also he introduced me to Antonio Krüger, whom I shared a great stay with at the DFKI, together with the people from IRL. I would also like to thank the secondary reviewers: Fabio Paternó, Antti Oulasvirta and Nuria

Oliver. Although they did not get the chance to actually review this thesis, I have been lucky enough to enjoy their support. And of course, I must thank the rest of the board committee: Filiberto Pla (president), Mari Carmen Juan (secretary) and the alternate members José Miguel Benedí and Miguel Chover.

Por supuesto, quiero agradecer a mis amigos y a mi familia, en especial a mis padres y a mi hermana, porque la distancia geográfica que nos separa no ha evitado que me sigan dando todo su apoyo incondicional. Por último, y no por ello menos importante (¡ni mucho menos!) quiero agradecer muy especialmente a Bea Alonso por su infinita paciencia, sobre todo en los últimos tramos de la tesis. Ella es ahora mismo una de las personas más importantes en mi vida. A ella le dedico esta tesis.

Luis A. Leiva
November 8, 2012

Contents

Board Committee	i
Abstract / Resumen / Resum	ii
Keywords	iv
Acknowledgments	v
Nomenclature	ix
1 Introduction	1
1.1 Preamble: On User Behavior	2
1.2 Implicit Interaction	3
1.3 Aims and Goals of the Thesis	6
1.4 Thesis Overview	9
Bibliography of Chapter 1	11
2 Interactive Usability Evaluation	14
2.1 Introduction	15
2.2 Related Work	16
2.3 Simple Mouse Tracking	18
2.4 Applications	23
2.5 A Case Study	25
2.6 Conclusions and Future Work	28
Bibliography of Chapter 2	29
3 Behavioral Clustering	32
3.1 Introduction	33
3.2 Revisiting the K-means Algorithm	34
3.3 Evaluation	40
3.4 Conclusions and Future Work	52
Bibliography of Chapter 3	53

4 Human Multitasking	56
4.1 Introduction	57
4.2 MouseHints	61
4.3 Evaluation	63
4.4 Discussion	66
4.5 Conclusions and Future Work	68
Bibliography of Chapter 4	68
5 Adaptive User Interfaces	71
5.1 Introduction	72
5.2 Related Work	73
5.3 ACE: An Adaptive CSS Engine	74
5.4 Fostering Creativity	79
5.5 Evaluation	81
5.6 Discussion	82
5.7 Conclusions and Future Work	84
Bibliography of Chapter 5	85
6 Interactive Pattern Recognition	87
6.1 Introduction	88
6.2 IPR Systems Overview	91
6.3 Evaluation	94
6.4 Conclusions and Future Work	108
Bibliography of Chapter 6	109
7 General Conclusions	111
7.1 Summary	111
7.2 Future Outlook	112
Additional References	113
A Research Dissemination	114
List of Publications	115
List of Figures	118
List of Tables	120
Index	121

Nomenclature

ACE	Adaptive CSS Engine
AJAX	Asynchronous Javascript And XML
API	Application Programming Interface
CSS	Cascading Style Sheet
DOM	Document Object Model
HCI	Human-Computer Interaction
HMM	Hidden Markov Model
HTML	HyperText Markup Language
HTR	Handwritten Text Recognition
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IDL	Interface Definition Language
IGP	Interactive Grammatical Parsing
IHT	Interactive Handwritten Transcription
IMT	Interactive Machine Translation
IPR	Interactive Pattern Recognition
JS	JavaScript
JSON	JavaScript Object Notation
MT	Machine Translation
NLP	Natural Language Processing
NN	Nearest-Neighbor
POI	Probability Of Improvement
PR	Pattern Recognition
RISE	Relevant Image Search Engine
SQE	Sum of Quadratic Errors
SUS	System Usability Scale
TS	Trace Segmentation
UI	User Interface
WER	Word Error Rate
WSR	Word Stroke Rate
XML	eXtensible Markup Language
XUL	XML UI Language

“ You can discover more about a person in an hour of play than in a year of conversation. ”

Plato, 427–347 BC