Universidad Autónoma de Madrid
Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería Informática

Recommender System Performance Evaluation and Prediction: An Information Retrieval Perspective

Dissertation written by

Alejandro Bellogín Kouki

under the supervision of

Pablo Castells Azpilicueta

and

Iván Cantador Gutiérrez

Madrid, October 2012

PhD thesis title: Recommender System Performance Evaluation and Prediction: An Information Retrieval Perspective

Author: **Alejandro Bellogín Kouki**

Affiliation: Departamento de Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid, Spain

Supervisors: **Pablo Castells Azpilicueta**
Universidad Autónoma de Madrid, Spain

Iván Cantador Gutiérrez
Universidad Autónoma de Madrid, Spain

Date: October 2012

Committee: **Alberto Suárez González**
Universidad Autónoma de Madrid, Spain

Gonzalo Martínez Muñoz
Universidad Autónoma de Madrid, Spain

Arjen de Vries
Delft University of Technology, The Netherlands

Jun Wang
University College London, United Kingdom

Lourdes Araújo Serna
Universidad Nacional de Educación a Distancia, Spain

Juan Manuel Fernández Luna
Universidad de Granada, Spain

Enrique Amigó Cabrera
Universidad Nacional de Educación a Distancia, Spain

Contents

List of figures

List of tables

Abstract

Personalised recommender systems aim to help users access and retrieve relevant information or items from large collections, by automatically finding and suggesting products or services of likely interest based on observed evidence of the users' preferences. For many reasons, user preferences are difficult to guess, and therefore recommender systems have a considerable variance in their success ratio in estimating the user's tastes and interests. In such a scenario, self-predicting the chances that a recommendation is accurate before actually submitting it to a user becomes an interesting capability from many perspectives. Performance prediction has been studied in the context of search engines in the Information Retrieval field, but there is little if any prior research of this problem in the recommendation domain.

This thesis investigates the definition and formalisation of performance prediction methods for recommender systems. Specifically, we study adaptations of search performance predictors from the Information Retrieval field, and propose new predictors based on theories and models from Information Theory and Social Graph Theory. We show the instantiation of information-theoretical performance prediction methods on both rating and access log data, and the application of social-based predictors to social network structures.

Recommendation performance prediction is a relevant problem per se, because of its potential application to many uses. Thus, we primarily evaluate the quality of the proposed solutions in terms of the correlation between the predicted and the observed performance on test data. This assessment requires a clear recommender evaluation methodology against which the predictions can be contrasted. Given that the evaluation of recommender systems is an open area to a significant extent, the thesis addresses the evaluation methodology as a part of the researched problem. We analyse how the variations in the evaluation procedure may alter the apparent behaviour of performance predictors, and we propose approaches to avoid misleading observations.

In addition to the stand-alone assessment of the proposed predictors, we research the use of the predictive capability in the context of one of its common applications, namely the dynamic adjustment of recommendation methods and components. We research approaches where the combination leans towards the algorithm or the component that is predicted to perform best in each case, aiming to enhance the performance of the resulting dynamic configuration. The thesis reports positive empirical evidence confirming both a significant predictive power for the proposed methods in different experiments, and consistent improvements in the performance of dynamic recommenders employing the proposed predictors.

Resumen

Los sistemas de recomendación personalizados tienen como objetivo ayudar a los usuarios en el acceso y recuperación de información u objetos relevantes en vastas colecciones mediante la sugerencia automática de productos o servicios de potencial interés, basándose en la evidencia observada de las preferencias de los usuarios. Las preferencias de usuario son difíciles de predecir por muchos motivos y, por tanto, los sistemas de recomendación tienen una variabilidad considerable en su tasa de acierto al intentar estimar los gustos e intereses de cada usuario. En este escenario la auto-predicción de las probabilidades de que una recomendación sea acertada antes de proporcionarla al usuario se convierte en una capacidad interesante desde múltiples perspectivas. La predicción de eficacia ha sido estudiada en el contexto de los motores de búsqueda en el campo de la Recuperación de Información, pero apenas se ha investigado en el dominio de la recomendación.

Esta tesis investiga la definición y formalización de métodos de predicción de eficacia para sistemas de recomendación. Concretamente, se estudian adaptaciones de predictores de eficacia de búsqueda en el campo de la Recuperación de Información, y se proponen nuevos predictores basados en modelos y técnicas de la Teoría de la Información y la Teoría de Grafos Sociales. Se propone la instanciación de métodos de teoría de información para predicción de eficacia tanto en datos de valoraciones de usuario explícitas como en registros de accesos, así como la aplicación de predictores sociales sobre estructuras de red social.

La predicción de eficacia de recomendación es un problema relevante per se dados sus múltiples usos y aplicaciones potenciales. Por ello, en primer lugar se evalúa la calidad de las soluciones propuestas en términos de la correlación entre la eficacia estimada y la observada en los datos de test. Esta valoración requiere una metodología clara de evaluación de sistemas de recomendación con la que las predicciones puedan ser contrastadas. Dado que la evaluación de los sistemas de recomendación es aún un área de investigación en buena medida abierta, la tesis aborda la metodología de evaluación como parte del problema a investigar. Se analizan entonces cómo las variaciones en el procedimiento de evaluación pueden alterar la percepción del comportamiento de los predictores de eficacia, y se proponen aproximaciones para evitar observaciones engañosas.

Además de las valoraciones independientes de los predictores propuestos, investigamos el uso de su capacidad predictiva en el contexto de una de sus aplicaciones comunes, a saber, el ajuste dinámico de métodos híbridos para combinar algoritmos y componentes de recomendación. Se investigan aproximaciones donde la combinación se inclina hacia el algoritmo o la componente que se predice va a tener mejor eficacia en cada caso, a fin de mejorar la eficacia de la configuración dinámica resultante. La tesis presenta resultados empíricos positivos que confirman tanto un poder predictivo significativo para los métodos propuestos, como consistentes mejoras en la eficacia de recomendaciones dinámicas que utilizan los predictores propuestos.

Acknowledgements

This manuscript is the result of several years of work in the college, master, and finally PhD studies. In all this time I have received the support of my family, friends, and colleagues, to whom I am very grateful. These lines are a sign of my gratitude to all of them.

First, I would like to thank my supervisors Pablo Castells and Iván Cantador for their constant encouragement at any aspect I had to face these years, from the stressful talks to the (sometimes confusing) reviews received, and including those about the overwhelming first classes as a teacher and the tiresome paperwork. Thanks to Pablo for giving me the opportunity to pursue this PhD with him, for his effort and continous work during these years, and for allowing me to participate in conferences and projects where I have learnt so much about deadlines and priorities, and how to deal with them according to a given purpose. Special thanks also to Iván whose continuous support helped me to improve my writing and design skills, although there is still some room for improvement in this respect, especially in the latter. Besides, I started my research training with him, which let me grow professionally, and represented my first satisfactions in the form of papers.

Fernando Díaz deserves a special mention, since without his counsel and early interest I probably would not belong to my research group, and I may not have done any research at all. I am also deeply grateful and in debt to all of the current and past members of the IRG/NETS group, especially to David Vallet, Miriam Fernández, Sergio López, Pedro Campos, Saúl Vargas, Nacho Fernández, Víctor Villasante, José Conde, and María Medina for all the great times spent together and the really interesting discussions about research, programming, teaching, and life in general. I would also like to thank the rest of occupants of the B-408 and previously those of B-402 (Alexandra Dumitrescu, Enrique Chavarriaga, César Álvarez, Yolanda Torres, David Alfaya, Víctor López, Alejandro García, Manuel Torres, Laura Hernández, Álvaro Valera, Luis Martín, Chema Martínez, and Sara Schvartzman), and the people from the VPULab/GTI, especially José María Martínez, Jesús Bescós, Víctor Valdés, Javier Molina, Fernando López, Marcos Escudero, and Álvaro García with whom I shared projects and meetings.

After my two internships at the University College London, I am very grateful to Jun Wang for his kind support, and also to Tamas Jambor and Jagadeesh Gorla with whom I had the pleasure of collaborating and discussing whenever I needed. Outside of my group, I also met many interesting people with whom I had the opportunity to discuss about research, learn many things, and even collaborate together; thus, I want to extend my gratitude to all of them, in particular, my special thanks to Javier Parapar, Miguel Martínez, Denis Parra, Xavier Amatriain, Joaquín Pérez, Neal Lathia, Alan Said, Zeno Gantner, Yue Shi, Marcel Blattner, Anmol Bashin, Gunnar Schröder, Sandra García, Owen Phelan, José Ramón Pérez, Ronald Teijeira, Álvaro Barbero, Miguel Ángel Martínez, Alfonso Romero, Eduardo Graells, Marko Tkalčič, and Arkaitz Zubiaga. I am also in debt with the people behind the Apache Mahout open source project since I have used it almost from the beginning of my training process and it offered me the implementations of my first recommender systems.

Gracias a la gente que conocí en el máster (allá por el 2008-2009), sobre todo con los que colaboré de alguna u otra manera, y con los que compartí charlas y discusiones sobre las asignaturas tanto dentro como fuera de la facultad. Muchas gracias a Richard Rojas, Joaquín Fernández, Rafael Martínez, José Miguel Rojas, Clemente Borges y Sergio García. Y si agradezco a los que me acompañaron en el máster, no voy a ser menos con aquellos con los que hice la carrera, la 'doble', los que sobrevivimos a la primera promoción de una carrera donde aprendí mucho, tanto académica, como personalmente. Muchas personas merecen este reconocimiento, pero se lo dedico en especial a Juanda, mi compañero de prácticas durante casi toda la carrera y una de las personas con las que más he aprendido: gracias. También gracias a Roberto, Maite, Jorge, Willy, Irene, Edu, Elena, Jesús, Fran y María por conseguir que esos cinco años pasaran mucho más rápido.

I should also mention the grants that supported my research: the fundings for travel, conference, and publication expenses covered by different European and Spanish research projects (references FP6-027685, TSI-2006-26928-E, CENIT-2007-1012, TIN-2008-06566-C04-02, S2009TIC-1542, CCG10-UAM/TIC-5877, and TIN2011-28538-C02-01), the pre-doctoral grants offered by Universidad Autónoma de Madrid ('Ayudas para inicio de estudios en programas de posgrado 2007' and 'Formación de personal investigador FPI 2009', which additionally covered the expenses of my second internship at UCL), and the teaching assistant position ('Profesor Ayudante') offered in 2010 by the same university, which is currently funding this PhD.

También gracias a mis alumnos, con el de este año ya van siete los grupos a los que he dado clase, y aún no termino de acostumbrarme a la sensación de ver cómo alguien confía plenamente en lo que dices para después observar cómo ha aprendido a hacer cosas que un momento antes no imaginaba que podría hacer. Esa sensación la tendré siempre conmigo. Además, agradezco a los profesores de la Escuela Politécnica Superior y del Departamento de Matemáticas todo lo aprendido entonces como alumno, y ahora como profesor, donde desde el otro lado puedo apreciar aún más lo difícil que es ejercer como docente, y cómo algunos os empeñábais en que pareciera muy sencillo: muchísimas gracias. También merecen un agradecimiento especial el personal de Secretaría y de Administración de la Escuela, a los que he traído de cabeza (sobre todo últimamente) con todas las solicitudes, justificantes y demás papeleo necesario en estos últimos 10 años, gracias sobre todo a Marisa Moreno, María José García, Juana Calle y Amelia Martín. Por supuesto, este agradecimiento también se extiende al personal de biblioteca, conserjería, limpieza y cafetería, que hacen que el tiempo que se pasa en la facultad (a veces más del deseable) sea más sencillo, agradable y ameno.

A mis amigos más cercanos, algunos de ellos del colegio, como Emiliano, Raúl, María, Julito, Luis, Gonzalo, Juan, Esther y Claudio; y otros de después, como Roberto, Noha, Alba y Gema; a todos ellos también les agradezco el haber estado ahí todos estos años y no desesperar cuando no podía salir porque estaba siempre ocupado, y por escuchar y mostrar interés cuando se atrevían a preguntar qué hacía en la universidad. Un abrazo muy grande y un gracias transoceánico a mi buen amigo Hugo, que me enseñó que siempre hay que perseguir lo que uno desea, y con el que siempre podré contar, como cuando hablábamos a deshoras durante mi estancia en Londres o trasnochando para acabar algún artículo.

Por último, y por supuesto, no menos importante, a mi familia. Gracias a mis hermanos por obligarme a jugar a la consola para despejarme, y a hablar de fútbol, baloncesto o música aún cuando llevamos varios días sin vernos por nuestros horarios desacoplados, eso hizo más fácil pasar fuera el tiempo necesario para haber podido terminar esta tesis. Gracias a mi madre, de la que he aprendido a trabajar duro para seguir adelante y que el esfuerzo es lo único que cuenta; ella es y siempre ha sido mi inspiración. Y gracias a Susana y a su familia, por acogerme desde el principio como uno más, y por interesarse siempre por mi tesis. Sin duda, Susana ha sido una de las tres personas que más de cerca ha sufrido todo este proceso, sólo me queda agradecerle el haber estado conmigo todo este tiempo y el haber sido capaz de convencerme de que después de cada rechazo habría algo positivo y que, después de todo, yo sería capaz de superarlo. Gracias, no lo habría conseguido sin ti.

Alejandro Bellogín
October 2012

A mi madre, mis hermanos y Susana