

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

TESIS DOCTORAL

Arquitectura multiagente auto-adaptativa para
la gestión de smart cities



VNiVERSiDAD
D SALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Departamento de Informática y Automática
Facultad de Ciencias

Autor:

Pablo Chamoso Santos

Directora:

Dra. Sara Rodríguez González

Codirector:

Dr. Javier Bajo Pérez

Salamanca, 2017

Declaración de autoría

D. Pablo Chamoso Santos, presenta el proyecto de tesis titulado “Arquitectura multiagente auto-adaptativa para la gestión de Smart Cities” para optar al Grado de Doctor en Ingeniería Informática por la Universidad de Salamanca, y declara que ha sido realizado bajo la dirección de la Dra. Sara Rodríguez González, profesora contratada doctora del Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca, y el Dr. Javier Bajo Pérez, profesor titular en el Departamento de Inteligencia Artificial de la Universidad Politécnica de Madrid.

En Salamanca, a 1 de septiembre de 2017

El doctorando:

Pablo Chamoso Santos

Los directores:

Dra. Sara Rodríguez González

Dr. Javier Bajo Pérez

Resumen

El concepto de Ciudad Inteligente, o *Smart City*, ha emergido con fuerza en los últimos años. Cada vez es más habitual que las ciudades busquen promocionarse como inteligentes para demostrar su adaptación tecnológica y tratar de atraer nuevos ciudadanos e inversiones externas, a la vez de retener los ya existentes.

Paradigmas como Internet de las cosas, *Big Data*, o *Cloud Computing* han conseguido poner a disposición de desarrolladores de sistemas tecnológicos grandes volúmenes de datos y las capacidades tecnológicas necesarias para procesarlos de manera que se obtienen grandes beneficios impensables hasta el momento. Las ciudades han encontrado sobre estas tecnologías una base, como grandes generadoras de datos que son, sobre la que desplegar servicios que repercutan a sus ciudadanos positivamente.

Aunque estos beneficios ya han sido demostrados con diferentes casos de estudio, un muy bajo porcentaje de ciudades del mundo, principalmente grandes urbes, se han sumado a esta tendencia y en la mayoría de los casos es a través de la utilización de software privado.

Con el presente trabajo se define una arquitectura cuyo objetivo es proporcionar capacidades de adaptación a cualquier tipo de ciudad, independientemente de su tamaño, para ofrecer tantos servicios como sean necesarios dentro de las múltiples áreas que componen una *Smart City*.

Siguiendo la arquitectura presentada como base, se ha construido una plataforma sobre la que se despliega una serie de servicios que aportan un valor añadido, tanto a la ciudad como a los ciudadanos, ya que la parte más importante de las ciudades. Los servicios que se ofrecen dentro del marco del presente trabajo destacan por su componente de investigación y la aplicación de técnicas propias del área de la Inteligencia Artificial, siendo capaces de aprovechar toda la información disponible para mejorar el resultado del servicio que prestan. Así, cuanto más se utilice la plataforma por las organizaciones encargadas o por el conjunto de los ciudadanos, mejor es la experiencia o el beneficio que pueden obtener de ella. Siguiendo la arquitectura presentada, se puede, de forma sencilla, adaptar y desplegar tantos servicios como se necesiten.

Como resultado, se obtiene una arquitectura auto-adaptativa, capaz de prestar una variedad de servicios que proporcionen un valor añadido a las ciudades.

Abstract

The concept of Smart Cities has been emerging with great intensity in the recent years and its influence on our lives will continue to become more evident. Some cities have begun to promote themselves as smart, in order to demonstrate their technological adaptation, attract new citizens and external investments, as well as hold on to those that already live there and the investments that have already been made.

Paradigms like The Internet of Things, Big Data or Cloud Computing have provided developers with new technological capabilities which enable them to process large volumes of datasets, as a result, extraordinary benefits can be extracted from data. In this equation, cities play an important role, both as great data generators, and as places where new services can be deployed and showcased to all citizens, impacting their lives in a positive way.

Although diverse case studies have already demonstrated these benefits, a very low percentage of cities in the world, mainly large cities, have joined this trend and in most cases they use proprietary software.

This work defines an architecture that can be adapted to any type of city, regardless of its size, to offer as many services as necessary within the multiple areas that make up a Smart City.

This architecture offers a series of services that add value to cities and citizens, who are their most important component. The services offered within the framework of this study stand out for their research and the application of specific Artificial Intelligence techniques that allow to leverage all the available information, improving the outcome of their service. This platform will improve with its use, the more used the greater the experience and benefit that citizens and entities can get from it.

As a result, a self-adaptive system is presented, it is capable of providing all kinds of services that add value to cities. By following the presented model, cities can adapt and deploy as many services as they need in a simple way.

Agradecimientos

Pese a ser algo reacio a mostrar en público ciertas sensaciones privadas, reflejar en estas líneas el agradecimiento a todas las personas que han contribuido en la consecución de este paso es una oportunidad que no se puede dejar pasar.

Hace más de seis años, cuando todavía estaba estudiando la ingeniería, que me uní a este equipo de personas tan trabajadoras como atentas conmigo, que componen el Grupo de Investigación BISITE. Gracias a Juan Manuel, por darme la oportunidad de formarme profesionalmente con los más de cien compañeros que hemos tenido.

Gracias a mis directores, Sara y Javier, por todos los consejos, la ayuda y el tiempo invertido en mí desde el primer día que llegué, no solo durante estos tres años de doctorado.

Gracias todos los compañeros por hacer mucho más amenas las largas horas vividas en los diferentes despachos por los que hemos ido pasando. De todos me llevo algo. De los que no están y de los que siguen.

En definitiva, debo agradecer a todos los que con su cariño y apoyo me han ayudado a conseguir esta meta: compañeros de la Universidad de Salamanca, amigos y familia. En especial a mis padres, a mi hermano y a Lorena.

Tabla de Contenido

Declaración de autoría	iii
Resumen	v
Abstract	vii
Agradecimientos	ix
Contenido	x
Lista de figuras	xv
Lista de tablas	xvii
Glosario	xix
Siglas y acrónimos	xxi
1 Introducción	1
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Motivación e hipótesis	5
1.3 Metodología	8
1.4 Estructura de la memoria	10
2 Estado del arte	13
2.1 Introducción	15
2.2 Smart cities	16
2.2.1 Servicios	18
2.2.2 Soporte tecnológico	23
2.2.2.1 Tecnologías disponibles	23
2.2.2.1.1 Redes heterogéneas de dispositivos	23
2.2.2.1.2 Sensing as a Service	25
2.2.2.1.3 Cloud Computing	27
2.2.2.1.4 Persistencia de la información	28
2.2.2.1.5 Análisis de la información	30

2.2.2.2	Plataformas existentes	37
2.3	Agentes y sistemas multiagente	41
2.3.1	Agente y su clasificación	42
2.3.2	Sistemas multiagente	46
2.3.2.1	Organizaciones virtuales de agentes	47
2.3.2.2	Modelado	50
2.4	Smart cities y agentes	52
2.5	Conclusiones	53
3	Arquitectura global del sistema	55
3.1	Introducción	57
3.2	Arquitectura propuesta	59
3.2.1	Capa 1: soporte físico	60
3.2.1.1	Nivel de integración con datos de ciudadanos, aplicaciones y otras fuentes	63
3.2.1.2	Nivel de conectividad IoT	65
3.2.1.3	Nivel de captura de datos en tiempo real	66
3.2.1.4	Nivel de API IoT	67
3.2.1.5	Nivel de servicios de recursos del <i>cloud</i>	70
3.2.2	Capa 2: persistencia	73
3.2.2.1	MongoDB	75
3.2.2.2	HDFS	76
3.2.3	Capa 3: organizaciones de agentes	77
3.2.3.1	IntegrationVO	79
3.2.3.2	PersistenceVO	82
3.2.3.3	UseCaseVO 1..n	83
3.2.3.4	DataAnalysisVO	84
3.2.3.5	DataVisualizationVO	84
3.2.4	Capa 4: aplicaciones	85
3.2.5	Seguridad	86
3.2.5.1	vRealize Automation REST API	86
3.2.5.2	DC/OS	87
3.2.5.3	MongoDB	87
3.2.5.4	HDFS	88
3.2.5.5	Hypercat	88
3.2.5.6	Kafka	89
3.3	Conclusiones	89
4	Casos de estudio	91
4.1	Introducción	93
4.2	Caso de estudio I: Escenarios comunes en SCs	96
4.2.1	Introducción	96
4.2.2	Gestión de incidencias	97
4.2.3	Entorno de simulación	99
4.2.4	Monitorización de sensores desplegados	101
4.2.5	Conclusiones del sistema propuesto para el caso de estudio I	103

4.3	Caso de estudio II: Aplicación en mantenimiento de sistemas de distribución de energía	105
4.3.1	Introducción	105
4.3.2	Sistema propuesto	107
4.3.2.1	Estimación de la resistencia y la resistividad	108
4.3.2.2	Reducción del tamaño de la muestra	113
4.3.3	Conclusiones de la integración del sistema propuesto para el caso de estudio II	115
4.4	Caso de estudio III: Aplicación en entornos sociosanitarios	116
4.4.1	Introducción	116
4.4.2	Análisis del fondo de ojo y antecedentes	117
4.4.3	Sistema propuesto	119
4.4.3.1	Organización virtual	119
4.4.4	Metodología de extracción del conocimiento	121
4.4.5	Conclusiones de la integración del sistema propuesto para el caso de estudio III	131
4.5	Caso de estudio IV: Sistema recomendador de relaciones en redes sociales	132
4.5.1	Introducción	132
4.5.2	Sistema propuesto	134
4.5.2.1	Extracción de información	135
4.5.2.2	Relaciones usuario-usuario	137
4.5.2.3	Relaciones usuario-oferta de empleo	142
4.5.3	Conclusiones de la integración del sistema propuesto para el caso de estudio IV	148
4.6	Caso de estudio V: Auto-adaptación de capacidad en función de la demanda de procesamiento de imágenes	151
4.6.1	Introducción	151
4.6.2	Revisión de técnicas existentes	152
4.6.3	Sistema propuesto	156
4.6.3.1	HashExtractionRole	156
4.6.3.2	ImageMatchingRole	160
4.6.3.3	ForecastRole	161
4.6.3.4	ResourceRole	167
4.6.4	Conclusiones de la integración del sistema propuesto para el caso de estudio V	168
4.7	Conclusiones de la utilización arquitectura propuesta	169
5	Results, conclusions and future work	171
5.1	Introduction	173
5.2	Case study I: Common SC services	173
5.2.1	Management of incidents	173
5.2.2	Simulation environment	176
5.2.3	Deployed sensors monitoring	177
5.3	Case study II: Energy distribution maintenance	179
5.3.1	Results	179
5.3.2	Conclusions and future work	181
5.4	Case study III: Sanitary environments	182

5.4.1	Introduction	182
5.4.2	Results and conclusions	182
5.5	Case study IV: Relationship recommender system in social networks . . .	184
5.5.1	Introduction	184
5.5.2	Results	184
5.5.2.1	Experiment data set	184
5.5.2.2	Recommender results	190
5.5.2.2.1	User-User recommendations	190
5.5.2.2.2	User-Job offer recommendations	191
5.5.3	Conclusions and future work	193
5.6	Case study V: Image matching self-adaptive system	194
5.6.1	Introduction	194
5.6.2	Results	194
5.6.3	Conclusion and future work	196
5.7	Architecture conclusions	198
5.7.1	Functional evaluation	198
5.7.2	Smart city services	200
5.7.3	Research validation	202
5.7.3.1	Energy distribution maintenance	202
5.7.3.2	Sanitary environments	203
5.7.3.3	Social networks	204
5.8	Future work	204
A Publicaciones y trabajos relacionados		207
A.1	Introducción	209
A.1.1	Artículos en revistas internacionales	209
A.1.2	Capítulos de libros	210
A.1.3	Participación en proyectos	214
A.1.4	Propiedades intelectuales	216
Bibliografía		217

Lista de figuras

2.1	Esquema de servicios M2M.	24
2.2	Modelo Sensing as a Service (SenaaS)	25
3.1	Esquema general de la arquitectura propuesta.	59
3.2	Estructura de la capa 1 - soporte físico.	62
3.3	Arquitectura usada para integración de información con Kafka.	64
3.4	Integración del <i>gateway</i> con la primera capa de la plataforma	66
3.5	Catálogo de ejemplo en Hypercat.	68
3.6	Modelo de descubrimiento de atributos y sensores en Hypercat.	69
3.7	Vista estructural del MAS - Fase D de GORMAS.	79
4.1	Estructura de la VO para el caso de uso de gestión de incidencias.	99
4.2	Entorno de simulación integrado con el IOC de IBM.	101
4.3	Dispositivo capturador de CO ₂	102
4.4	Esquema de la organización virtual diseñada.	108
4.5	Ciclo del sistema CBR para la estimación de la resistividad y de la resistencia.	109
4.6	Ciclo del sistema CBR para predecir los valores Kc y Kp a partir del K_R	111
4.7	Esquema de la estructura de la VO.	120
4.8	Etapas en las que se divide la metodología de análisis.	121
4.9	Divisiones resultantes del pre-procesado en la detección de la mácula.	122
4.10	Procesamiento de la imagen para localizar el disco óptico.	123
4.11	Resultados de las etapas para segmentar la vasculatura.	126
4.12	Cuatro tipos de puntos que se detectan a la hora de analizar el esqueleto de los vasos sanguíneos.	128
4.13	Procedimiento para obtener 1) el área, 2) la longitud y 3) el grosor de un vaso sanguíneo.	130
4.14	Extracción de factores en ofertas de empleo.	136
4.15	Comportamiento del análisis del área geográfica.	146
4.16	Diagrama de flujo y partes del sistema CBR en las recomendaciones de ofertas de empleo.	149
4.17	Integración de la VO de recomendación con la arquitectura.	150
4.18	Diagrama de flujo típico en los algoritmos basados en la extracción de <i>hashes</i>	153
4.19	Esquema de la VO del caso de estudio de análisis de imágenes.	157
4.20	Esquema del sistema de predicción para la gestión de nodos.	161
4.21	Comportamiento del sistema de predicción dinámico.	163

4.22	a) Representación abstracta del patrón de peticiones basados en datos históricos; b) Problema del sistema estático ante un flujo continuo no esperado de peticiones; c) Sistema de predicción híbrido ante un flujo continuo no esperado de peticiones.	165
4.23	a) Patrón de peticiones esperado en función de los datos históricos; b) Problema del sistema estático con un incremento no esperado de peticiones; c) Sistema de predicción híbrido con un incremento no esperado de peticiones. d) Sistema de predicción híbrido con un incremento no esperado de peticiones que supera la tasa de crecimiento máxima.	166
4.24	a) Patrón de peticiones esperado en base a los datos históricos; b) Problema del sistema estático con un decremento de peticiones no esperado; c) Sistema de predicción híbrido con un decremento no esperado de predicciones.	167
5.1	Incident reporting app	174
5.2	Notifications dashboard	175
5.3	Waste collection service integration	176
5.4	Public lightning service integration	177
5.5	CO ₂ capture monitoring software	178
5.6	Web application, sampling results.	179
5.7	Web application, new or existing TT values prediction process.	180
5.8	Software screenshots on the last step of the analysis of two different images	182
5.9	User profile information extraction (p_i).	185
5.10	User profile information extraction (p_i).	187
5.11	Job offer information extraction (o_j).	188
5.12	Job offer recommender system.	189
5.13	User-user recommendations response graph.	191
5.14	User interactions grouped by profile area (%).	192
5.15	25% most active users evolution quartiles.	192
5.16	Example of the system process.	194
5.17	SC domains and the presented case studies (CS) classified by domain. . .	202

Lista de tablas

4.1	Factores y cálculo de su peso en recomendaciones usuario-usuario.	140
4.2	Factores y cálculo de sus pesos en las recomendaciones usuario-oferta de empleo.	147
5.1	Accuracy percentage on the estimation according to the mean distance. .	180
5.2	Reduction percentage depending on the number of selected TTs and the average distance.	181
5.3	Success rate for every step	182
5.4	Main exported parameters for the image figure 5.8, right	183
5.5	User-user recommendation results	190
5.6	User-Job offer recommendation results	191
5.7	25% most active users data grouped into quartiles.	193
5.8	Test dataset	195
5.9	Hit rate for hash based algorithms	195
5.10	Existing SC-oriented platforms.	200

Glosario

<i>Big Data</i>	la definición más completa lo califica como grandes conjuntos de datos, técnicas para procesarlos y analizarlos, así como sistemas de visualización de dichos datos.
<i>Broker</i>	es una entidad que actúa como intermediaria entre un emisor y un receptor. En este caso la información se estructura en <i>topics</i> de donde los suscriptores reciben la información.
<i>Cloud Computing</i>	de forma genérica, es un paradigma que permite ofrecer servicios computacionales (a varios niveles) a través de una red.
<i>Cluster</i>	un conjunto de ordenadores conectados (habitualmente por una red de alta velocidad) que se comportan como si de un único ordenador se tratara.
<i>Dashboard</i>	hace referencia a un cuadro de mandos o panel de control software, que permite monitorizar o administrar (en función de los permisos) sistemas.
<i>Endpoint</i>	en el contexto de los servicios REST, proporcionan una forma de acceder a un método de forma simple y directa.
<i>Gateway</i>	es un dispositivo utilizado a modo de interfaz de conexión entre dos dispositivos. También es conocido como pasarela o puerta de enlace.
<i>Kernel</i>	hace referencia al núcleo del sistema operativo, esto es, un componente software que gestiona recursos a través de servicios de llamada al sistema.
<i>Open Data</i>	son conjuntos de datos que pueden ser utilizados, reutilizados y redistribuidos libremente (aunque su uso puede estar sujeto a algún tipo de atribución) por desarrolladores o usuarios.
<i>Streaming</i>	es la distribución de forma digital de contenido utilizando como medio una red.
<i>Timestamp</i>	es un sello de tiempo que suele utilizarse para identificar el momento en el que se ha producido cierto evento.

<i>Token</i>	hace referencia a una cadena de caracteres con cierto significado para quien lo debe interpretar.
<i>Topic</i>	en el contexto del presente trabajo, hace referencia a grupos virtuales o particiones que sirven para estructurar la información de forma jerárquica.

Siglas y acrónimos

AI	A rtificial I ntelligence
ANN	A rtificial N eural N etwork
API	A pplication P rogramming I nterface
BDI	B elief- D esire- I ntention
CBR	C ase B ased R easoning
CC	C loud C omputing
DB	D ata B ase
DCT	D iscrete C osene T ransform
GORMAS	G uidelines for O rganization-based M ulti- A gent S ystems
HDFS	H adoop D istributed F ile S ystem
HTTP	H ypertext T ransfer P rotocol
HTTPS	H ypertext T ransfer P rotocol S ecure
IoT	I nternet o f T hings
IT	I nformation T echnology
JSON	J ava S cript O bject N otation
M2M	M achine 2 (to) M achine
MAS	M ulti- A gent S ystem
ML	M achine L earning
MLP	M ulti- L ayer P erceptron
NoSQL	N ot o nly S tructured Q uery L anguage
REST	R Epresentational S tate T ransfer
RDD	R esilient D istributed D atasets
RDF	R esource D escription F ramework
RS	R ecommender S ystem
SC	S mart C ity

Senaas	S ensing as a S ervice
TT	T ransmission T ower
UML	U nified M odeling L anguage
URI	U niform R esource I dentifier
VO	V irtual O rganization
XML	eX tensible M arkup L anguage

A Lorena y Alberto, por el tiempo que la distancia nos debe.

Capítulo 1

Introducción



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Introducción

1.1 Descripción del problema

Los datos se han convertido en una nueva materia prima para cualquier organización pública o privada, casi tan importante como el material o la mano de obra. Por tanto, resulta evidente que pueden generar grandes beneficios, que repercuten de forma positiva e inmediata en una sociedad cada vez más concienciada de sus ventajas.

Durante los últimos años, la forma en que la información se genera, se transmite y se analiza, ha cambiado enormemente debido a múltiples avances en distintas áreas. Un gran peso en estos avances está directamente ligado a la evolución de la tecnología [Perera et al., 2014]. Por ejemplo, se tienen *smartphones* con capacidades muy semejantes a ordenadores sobremesa, con conexión a Internet de alta velocidad y sistemas de geolocalización. Además de los *smartphones*, hoy en día existen sensores de muy diversa naturaleza que permiten optimizar los recursos en entornos industriales [Shrouf et al., 2014], monitorizar vehículos y carreteras [Gerla et al., 2014], controlar el estado de los elementos de un edificio [Moreno et al., 2014] o integrarse en entornos hospitalarios para ofrecer nuevos servicios médicos (*eHealth*) [Gatzoulis and Iakovidis, 2007]. Debido a estos avances, aparece el término Internet de las cosas o, en inglés, *Internet of Things* (IoT), donde sensores y actuadores se integran en el entorno que rodea a las personas en su día a día para utilizar o proporcionar información compartida a través de plataformas tecnológicas [Gubbi et al., 2013].

Por otro lado, la aparición de nuevas aplicaciones, como las redes sociales o las fuentes de datos abiertos (también conocidas como *open data*, del inglés), ponen una gran cantidad de datos de muy diversa naturaleza a disposición no solo de empresas u organizaciones, sino también a disposición del ciudadano. Este hecho también ha favorecido el cambio [Janssen et al., 2012]. Gracias a ello, es fácil disponer prácticamente en tiempo real de todo tipo de datos socioeconómicos, de energía o de servicios públicos, entre otros.

Por último, el concepto de *Smart City* (SC), ciudad inteligente como se ha traducido del inglés, aparece como un nuevo paradigma de desarrollo urbano inteligente y de crecimiento socioeconómico sostenible [Hollands, 2008], aunque no existe una definición compartida y validada de qué es exactamente una SC, dada la dificultad de identificar el conjunto de tendencias comunes a nivel global [Neirotti et al., 2014].

Todos los factores anteriormente mencionados mantienen una estrecha relación, pero este último concepto, el de SC, es el componente central que engloba al resto.

Sin embargo, a pesar de los múltiples beneficios, la disponibilidad de grandes volúmenes de datos puede llevar asociados una serie de problemas inherentes [Kitchin, 2014], como el enorme volumen de información, la desestructuración de los datos que se deben manejar, la gran variedad de formatos disponibles y la difícil forma de garantizar la calidad de los datos proporcionados por fuentes externas.

Para ser capaz de enfrentarse exitosamente a los diferentes problemas que aparecen ante la necesidad de enfrentarse al análisis de grandes volúmenes de datos en busca de traducirlas en soluciones o servicios, es necesario el diseño y la utilización de una arquitectura adecuada para ello.

La tecnología actual ofrece soluciones como Apache Spark [Shoro and Soomro, 2015] o bases de datos NoSQL (*Not Only Structured Query Language*), pero no basta con su aplicación para solventar todos los problemas que se presentan. La gestión en tiempo real de datos en *streaming*, la integración de fuentes generalmente heterogéneas y no estructuradas o la verificación de la calidad son solo una muestra de los factores que se han de tener en cuenta a la hora de proponer una solución.

No obstante, además de la selección de soluciones técnicas que permitan solventar los retos y las necesidades tecnológicas, es necesario aplicar un conjunto de soluciones arquitectónicas a la hora de diseñar una arquitectura orientada a gestionar y dar soporte a los servicios que una ciudad inteligente puede necesitar. A lo largo de la historia, las ciudades han estado siempre estructuradas en un conjunto de organizaciones que se encargan de tareas específicas para gestionar de forma más eficiente ciertos procesos y para ofrecer una serie de servicios al resto de ciudadanos u organizaciones. Esta forma de entender una ciudad como un conjunto de organizaciones encaja a la perfección con el concepto de organización virtual (VO) de agentes software [Rodríguez et al., 2011a], que es lógica puesto que las organizaciones de agentes nacieron a partir de las organizaciones de humanos [Davidsson, 2001].

Las VOs suponen un enfoque en el modelado de sistemas multiagente (MASs) en el que se tienen en cuenta los aspectos organizativos más allá de las simples capacidades de comunicación de los agentes [Reboredo et al., 2014]. Otra característica de las VOs es que

ofrecen a los sistemas que las utilizan la posibilidad de desarrollar tanto software como hardware de una manera flexible, con gran independencia y modularidad. Por tanto, su utilización es muy adecuada en sistemas que sirven como soporte a los servicios que ofrece una SC, donde hay servicios o módulos que deben evolucionar y adaptarse con el tiempo, o incluso aparecer nuevas necesidades [Dastani et al., 2003].

La presente tesis doctoral propone una novedosa arquitectura distribuida y basada en VOs de agentes software, enfocada a ofrecer una serie de servicios a los ciudadanos y a la gestión de información relevante para las SCs. Por tanto, se buscan tres objetivos: i) aportar una solución a cada uno de los diferentes problemas existentes asociados al manejo de grandes volúmenes de datos, que permita, además, adaptarse de forma automática a cualquier ciudad independientemente de su tamaño; ii) proporcionar una serie de capacidades que permitan aplicar técnicas propias de la AI que sean capaz de adaptarse para ser utilizadas por los diferentes servicios que se pueden ofrecer en una SC; y iii) permitir su aplicación en diferentes áreas, como energía, sanidad, empleabilidad o relaciones sociales.

Para poder valorar la arquitectura propuesta en esta tesis doctoral, se propone su aplicación en cinco casos de estudio concretos. El primero de ellos engloba tres casos menores e independientes, que de forma general se deben incluir en prácticamente la totalidad de las SCs (gestión de incidencias, monitorización de la información de los sensores desplegados y entorno de simulación). Los otros cuatro casos de estudio se centran en áreas clave de las ciudades como son la energía, entornos sociosanitarios, relaciones sociales y empleabilidad y, por último, el procesamiento de la información. Con todos ellos, se puede comprobar y medir objetivamente la validez y las ventajas de la arquitectura propuesta.

1.2 Motivación e hipótesis

Los avances tecnológicos producidos en los últimos años, tanto a nivel hardware como a nivel software, han proporcionado como resultado una potente fuente de obtención de conocimiento. Esto es así, puesto que las nuevas tecnologías se pueden aplicar para obtener grandes volúmenes de datos procedentes de múltiples fuentes, procesarlos y analizarlos para obtener información relevante, prácticamente en tiempo real.

De este modo, hoy en día son múltiples los escenarios y las grandes empresas, tanto relacionadas con la tecnología (como Google¹, Facebook [Dehghani and Tumer, 2015] o Amazon [Linden et al., 2003], entre muchas otras) como de otros sectores (como puede

¹Uso de datos personales en Google - <https://privacy.google.com/your-data.html>

ser el alimentario, con el ejemplo de la famosa cadena de comida rápida McDonald's [Van Rijmenam, 2013]), las que analizan los grandes volúmenes de información que pueden recuperar en busca de ofrecer un mejor servicio que repercuta en mayores beneficios.

Puesto que las ciudades pueden ser fuente de gran cantidad de datos en áreas muy dispares, paralelamente surge el concepto de SC como el marco que aúna la aplicación de estas técnicas con el objetivo de conseguir que el beneficio que el análisis de la información supone esté orientada a ciudades y a sus ciudadanos. No obstante, no existe un acuerdo global sobre cuáles son las áreas de actuación de las soluciones orientadas a dar servicio tecnológico en una ciudad. Pese a que existen diferentes aproximaciones propuestas, la mayoría implican ciertas restricciones debido a ser desarrollos propietarios, cuyo código no es libre y su ámbito de aplicación se centra únicamente en una única ciudad o que no proporciona ningún tipo de funcionalidad por defecto en caso de querer reutilizar el sistema diseñado.

En este contexto de inmadurez en cuanto a sistemas capaces de ofrecer a nuevas ciudades que quieren transformarse al concepto de SC, y aprovechando todas las ventajas que la tecnología permite, surge la actual línea de trabajo. Y es que no existe una arquitectura definida que sea capaz de abarcar todas las áreas que una ciudad requiera de forma auto-adaptativa y dinámica independientemente del tamaño de la ciudad, de código abierto y con funcionalidades indispensables en una ciudad (como un entorno de simulación o sistemas de representación de información en tiempo real) proporcionadas por defecto.

A la hora de definir la arquitectura para gestionar SCs de forma auto-adaptativa, además de las nuevas tecnologías emergentes orientadas al tratamiento de grandes volúmenes de información, el diseño de la arquitectura se propone desde el punto de vista de las VO de agentes. Esto es así, dado que los agentes software y los MASs se tratan de tecnologías contrastadas durante varias décadas, y el modelo organizativo basado en VO de agentes se adapta perfectamente a las estructuras que siguen las ciudades de hoy en día. Pero además de facilitar la estructuración del sistema, pueden encapsular funcionalidad basada en técnicas de AI que podrá ser reutilizada por varias aplicaciones o servicios de una ciudad o incluso de varias ciudades, obteniendo un conocimiento más completo en la mayoría de los casos.

Así pues, la hipótesis de partida es que *es posible la creación de una única arquitectura capaz de satisfacer todas las especificaciones y las demandas de cualquier tipo de ciudad. Además, puede incluir el valor añadido de proporcionar un conjunto de funcionalidades tanto reutilizables (al ser comunes y necesarias en la mayoría de ciudades), así como de incluir cualquier otra funcionalidad o servicio tan específico como la ciudad lo necesite..*

Por tanto, el objetivo principal que se pretende conseguir es *modelar una arquitectura auto-adaptativa que soporte y permita ofrecer una serie de servicios en diferentes áreas y para cualquier tipo de SC, proporcionando una serie de funcionalidades básicas basadas en AI a través de un MAS, así como la investigación en sistemas y técnicas existentes capaces proporcionar las necesidades computacionales. Dicha arquitectura se debe implementar y validar mediante una serie de casos de estudio basados en el tratamiento de información y relacionados con diferentes áreas que abordan las SCs.*

No obstante, para satisfacer dicho objetivo principal, es necesario alcanzar una serie de objetivos más específicos, que son:

- Realizar un estudio de las metodologías existentes para el análisis y diseño que actualmente se aplican en el desarrollo de MASs y su aplicación en el entorno de las SCs.
- Realizar un estudio de las tecnologías aplicadas en plataformas orientadas a prestar servicios a ciudadanos, así como de la aplicación de la teoría de agentes a sistemas orientados a servicios.
- Aplicar la teoría de agentes para conseguir ciudades más inteligentes, facilitando la construcción de entornos auto-adaptativos.
- Utilizar una metodología de análisis y diseño de MASs de forma que permita realizar el estudio de diferentes escenarios dentro del entorno de las ciudades inteligentes y proporcionar soluciones basadas en un MAS con técnicas de inteligencia artificial y sistemas distribuidos y dinámicos, de una forma rápida, práctica e intuitiva.
- Diseñar un mecanismo de integración de manera que se permita incrementar el total de soluciones proporcionadas, utilizando el conjunto de técnicas ya integradas.
- Proponer una arquitectura de MAS aplicable a la construcción de nuevos servicios al ciudadano basados en entornos inteligentes.
- Realizar el estudio de problemas concretos de aplicación en diferentes áreas sobre las que se centran las ciudades inteligentes, que se desarrollen en entornos dinámicos y distribuidos, con constantes cambios.
- Proporcionar un conjunto de funcionalidades consideradas como necesarias en una ciudad, que puedan ser reutilizadas de forma sencilla a partir de pequeñas modificaciones.

- Proponer un conjunto de algoritmos basado en las técnicas ofrecidas, cuya aplicación suponga un servicio novedoso del que se beneficie la población de la ciudad en la que se implemente.
- Evaluar una serie de casos de estudio realizados utilizando la arquitectura diseñada como base en entornos reales.

1.3 Metodología

A la hora de plantear una metodología que permita alcanzar los objetivos planteados en esta tesis doctoral, dentro del tiempo marcado, es necesario definir bien todas las actividades necesarias que vayan desde la etapa de investigación, hasta la etapa de validación de los resultados, de cara a garantizar que el resultado obtenido del resto de etapas sea el esperado.

Dada la gran carga de investigación que debe soportar tanto el diseño de la arquitectura, como los casos de estudio que se realicen, el método escogido ha sido el presentado en [Reason and Bradbury, 2001] y conocido como *action-research*. Este método es uno de los más habituales en el ámbito de la investigación en sistemas de la información, puesto que posibilita la investigación empírica. Está caracterizado por su orientación a la acción y al cambio, que permite centrarse en problemas definidos para generar conocimiento de investigación asociado en un periodo de tiempo establecido.

Así, el conjunto de actividades que se definieron al inicio del presente trabajo son las siguientes:

1. Análisis y evaluación de tecnologías disponibles y propuestas publicadas o desarrolladas.
2. Requisitos del sistema a diseñar.
3. Diseño de la solución.
4. Realización de la solución/prototipo.
5. Investigación y análisis de técnicas existentes relacionadas con los casos de estudio reales a ejecutar.
6. Diseño de los casos de estudio e integración en la arquitectura.
7. Validación de resultados obtenidos, tanto de la arquitectura como de los casos de estudio diseñados.

8. Disseminación.

Cada una de las actividades está compuesta a su vez por una serie de tareas, que de forma general, se estructuran de la siguiente manera:

- Etapa de análisis y especificación de requisitos.
- Etapa de diseño de los componentes, incluyendo las técnicas requeridas o el conjunto de algoritmos necesarios para la satisfacción de los objetivos de la tarea.
- Implementación de los componentes y desarrollo de los experimentos asociados aplicando las técnicas diseñadas. Estas técnicas y diseños se validan mediante un conjunto concreto de casos de estudio. Específicamente, se han desplegado cuatro casos de estudio (verticales) que se despliegan sobre el caso base propuesto (transversal).
- Disseminación de los resultados.

Estas actividades conducen la investigación hasta la obtención de resultados, pero es necesario establecer una serie de hitos que se deben alcanzar, de manera que se asegure el correcto avance del trabajo. En este sentido, se han definido los siguientes cuatro hitos:

H1) Análisis de componentes y definición de tecnologías a utilizar

Una arquitectura que pretende dar soporte a desarrollos de la envergadura que pueden ser desplegados en una ciudad, debe seguir un diseño modular en el que se deben determinar sus componentes. Una vez analizados, es necesario definir las tecnologías más adecuadas para cada una de las partes identificadas. Para ello, se debe tomar como partida la revisión de los últimos avances.

H2) Diseño de arquitectura auto-adaptativa a bajo nivel

Para dar soporte a todas las funcionalidades que pueden ser ofrecidas en una SC, es necesario realizar un diseño de los componentes de más bajo nivel, capaz de integrarse con la infraestructura y otras fuentes de datos, así como adaptarse a las necesidades de procesamiento.

H3) Diseño de la componente funcional (alto nivel) de la arquitectura

Basándose en la investigación en MASs, VOs y técnicas propias de la AI, se debe llegar a ofrecer un sistema capaz de reutilizar funcionalidades y adaptar los servicios que ofrece o añadir otros nuevos de forma transparente al ciudadano como usuario final.

H4) Descripción, implementación y validación de casos de estudio que validen la arquitectura diseñada a través de servicios de alto nivel orientados al

ciudadano y las entidades gestoras o administraciones de las ciudades

Se deben ofrecer y evaluar una serie de servicios con los cuales los ciudadanos salgan beneficiados ya sea de forma directa como de manera indirecta. Parte de los casos deben ser comunes en las SCs, de manera que se permita su reutilización a las ciudades que deseen utilizar la arquitectura resultante de esta tesis doctoral. Pero también otros casos deben ser específicos para demostrar que cualquier aplicación de las áreas propias de una SC puede realizarse con la arquitectura como base, con buenos resultados.

1.4 Estructura de la memoria

Para probar la hipótesis de partida y alcanzar los objetivos establecidos, se ha estructurado esta memoria en cinco capítulos, de los cuales el presente compone el primero de ellos.

En el capítulo 2, se describe el estudio realizado sobre el estado de los últimos avances y las diferentes propuestas ya existentes que están siendo utilizadas en ciudades inteligentes. También se lleva a cabo un estudio de las diferentes técnicas propias del área de la informática y la inteligencia artificial, que se han determinado aplicar en la realización de la presente trabajo de tesis doctoral.

En el capítulo 3 se describe la arquitectura diseñada, que sirve como un soporte transversal sobre el que desplegar y gestionar una serie de servicios que se ofrecen a los ciudadanos. La arquitectura proporciona un conjunto de facilidades que permiten desarrollar nuevos servicios que directamente se ofrecen al ciudadano de forma final, a partir de servicios de más bajo nivel que ofrece la arquitectura para poder desplegar e implementar los servicios finales.

En el capítulo 4 se presentan cinco casos de estudio. Uno general con tres casos comunes a diferentes plataformas existentes para SCs y otros cuatro específicos, con una componente de investigación mayor, orientados a diferentes áreas que el concepto de ciudad inteligente abarca. Más concretamente, en las áreas energético, sociosanitario, social y tecnológico. Este capítulo está centrado en la descripción del sistema propuesto para cada uno de los casos de estudio y su integración con la arquitectura global presentada en el capítulo 3.

Finalmente, el capítulo 5 presenta los resultados de cada uno de los casos de estudio descritos en el capítulo 4 de forma individual, así como de la arquitectura global del sistema propuesto.

Como anexo se presenta la relación de artículos relacionados con el presente trabajo que han sido presentados durante el periodo de estudiante en el programa de doctorado en revistas internacionales, así como capítulos de libro. También se listan los proyectos de investigación en los que se ha participado y una serie de propiedades intelectuales obtenidas como resultado, que de una forma u otra han influido en el desarrollo de la presente tesis doctoral.

Para terminar, se presenta un listado con todas las referencias bibliográficas que han sido utilizadas para la realización de este trabajo de tesis doctoral y que han sido referenciadas a lo largo de la presente memoria.

Bibliografía

- Adomavicius, G. and Tuzhilin, A. (2015). Context-aware recommender systems. In *Recommender systems handbook*, pages 191–226. Springer.
- Alam, S., Chowdhury, M. M., and Noll, J. (2010). Senaas: An event-driven sensor virtualization approach for internet of things cloud. In *Networked Embedded Systems for Enterprise Applications (NESEA), 2010 IEEE International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- Alawadhi, S., Aldama-Nalda, A., Chourabi, H., Gil-García, J., Leung, S., Mellouli, S., Nam, T., Pardo, T., Scholl, H., and Walker, S. (2012). Building understanding of smart city initiatives. *Electronic government*, pages 40–53.
- Ali, S. M., Mehmood, C. A., Khawja, A., Nasim, R., Jawad, M., Usman, S., Khan, S., Salahuddin, S., and Ihsan, M. A. (2014). Micro-controller based smart electronic voting machine system. In *Electro/Information Technology (EIT), 2014 IEEE International Conference on*, pages 438–442. IEEE.
- Annunziato, M. and Pierucci, P. (2003). The emergence of social learning in artificial societies. *Applications of evolutionary computing*, pages 293–294.
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., et al. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4):50–58.
- Baccarne, B., Mechant, P., and Schuurman, D. (2014). Empowered cities? an analysis of the structure and generated value of the smart city ghent. In *Smart City*, pages 157–182. Springer.
- Bakıcı, T., Almirall, E., and Wareham, J. (2013). A smart city initiative: the case of barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2):135–148.
- Barrow, D. and Kourentzes, N. (2016). The impact of special days in call arrivals forecasting: a neural network approach to modelling special days. *European Journal of Operational Research*.

- Barthel, S. and Isendahl, C. (2013). Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities. *Ecological Economics*, 86:224–234.
- Bauer, B., Müller, J. P., and Odell, J. (2001). Agent uml: A formalism for specifying multiagent software systems. *International journal of software engineering and knowledge engineering*, 11(03):207–230.
- Bay, H., Tuytelaars, T., and Van Gool, L. (2006). Surf: Speeded up robust features. In *European conference on computer vision*, pages 404–417. Springer.
- beBee, Affinity Social Network, S. (2017). bebee, successful personal branding. <https://www.bebee.com>. 2017-03-15.
- Benington, J. and Moore, M. H. (2010). *Public value: Theory and practice*. Palgrave Macmillan.
- Bertolini, D., Delpero, L., Mylopoulos, J., Novikau, A., Orler, A., Penserini, L., Perini, A., Susi, A., and Tomasi, B. (2006). A tropos model-driven development environment. In *CAiSE Forum*, volume 231.
- Boulke, D. (2011). Big data impacts data management: The 5 vs of big data. <http://daveboulke.com/big-data-impacts-data-management-the-five-vs-of-big-data/>. 2017-02-15.
- Black, A. D., Car, J., Pagliari, C., Anandan, C., Cresswell, K., Bokun, T., McKinstry, B., Procter, R., Majeed, A., and Sheikh, A. (2011). The impact of ehealth on the quality and safety of health care: a systematic overview. *PLoS medicine*, 8(1):e1000387.
- Bobadilla, J., Ortega, F., Hernando, A., and Gutiérrez, A. (2013). Recommender systems survey. *Knowledge-based systems*, 46:109–132.
- Borràs, J., Moreno, A., and Valls, A. (2014). Intelligent tourism recommender systems: A survey. *Expert Systems with Applications*, 41(16):7370–7389.
- Boulos, M. N. K., Tsouros, A. D., and Holopainen, A. (2015). ‘social, innovative and smart cities are happy and resilient’: insights from the who euro 2014 international healthy cities conference. *International journal of health geographics*, 14(1):3.
- Brenner, W., Zarnekow, R., and Wittig, H. (2012). *Intelligent software agents: foundations and applications*. Springer Science & Business Media.
- Bresciani, P., Perini, A., Giorgini, P., Giunchiglia, F., and Mylopoulos, J. (2004). Tropos: An agent-oriented software development methodology. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 8(3):203–236.

- Bridge, D., Göker, M. H., McGinty, L., and Smyth, B. (2005). Case-based recommender systems. *The Knowledge Engineering Review*, 20(03):315–320.
- Bulander, R., Decker, M., Schiefer, G., and Kolmel, B. (2005). Comparison of different approaches for mobile advertising. In *Mobile Commerce and Services, 2005. WMCS'05. The Second IEEE International Workshop on*, pages 174–182. IEEE.
- Burke, R. (2002). Hybrid recommender systems: Survey and experiments. *User modeling and user-adapted interaction*, 12(4):331–370.
- Caire, G., Coulier, W., Garijo, F., Gomez, J., Pavón, J., Leal, F., Chainho, P., Kearney, P., Stark, J., Evans, R., et al. (2001). Agent oriented analysis using message/uml. In *International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering*, pages 119–135. Springer.
- Carli, R., Dotoli, M., Pellegrino, R., and Ranieri, L. (2013). Measuring and managing the smartness of cities: A framework for classifying performance indicators. In *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on*, pages 1288–1293. IEEE.
- Chambers, J. C., Mullick, S. K., and Smith, D. D. (1971). How to choose right forecasting technique. *Harvard business review*, 49(4):45.
- Chamoso, P., De Paz, J. F., Rodríguez, S., and Bajo, J. (2016). Smart cities simulation environment for intelligent algorithms evaluation. In *Ambient Intelligence-Software and Applications-7th International Symposium on Ambient Intelligence (ISAmI 2016)*, pages 177–187. Springer.
- Chapman, N., Witt, N., Gao, X., Bharath, A., Stanton, A., Thom, S., and Hughes, A. (2001). Computer algorithms for the automated measurement of retinal arteriolar diameters. *British Journal of Ophthalmology*, 85(1):74–79.
- Chellappa, R. (1997). Intermediaries in cloud-computing: A new computing paradigm. In *INFORMS Annual Meeting, Dallas*.
- Chen, M. (2013). Towards smart city: M2m communications with software agent intelligence. *Multimedia Tools and Applications*, 67(1):167–178.
- Chen, W.-Y., Chu, J.-C., Luan, J., Bai, H., Wang, Y., and Chang, E. Y. (2009). Collaborative filtering for orkut communities: discovery of user latent behavior. In *Proceedings of the 18th international conference on World wide web*, pages 681–690. ACM.

- Cheung, C. Y.-I., Ikram, M. K., Sabanayagam, C., and Wong, T. Y. (2012). Retinal microvasculature as a model to study the manifestations of hypertension. *Hypertension*, pages HYPERTENSIONAHA-111.
- Claus, C. and Boutilier, C. (1998). The dynamics of reinforcement learning in cooperative multiagent systems. *AAAI/IAAI*, 1998:746–752.
- Clohessy, T., Acton, T., and Morgan, L. (2014). Smart city as a service (scaas): a future roadmap for e-government smart city cloud computing initiatives. In *Proceedings of the 2014 IEEE/ACM 7th International Conference on Utility and Cloud Computing*, pages 836–841. IEEE Computer Society.
- Conner, M. (2010). Sensors empower the “internet of things”. *EDN (Electrical Design News)*, 55(10):32.
- Cossentino, M. and Potts, C. (2002). Passi: A process for specifying and implementing multi-agent systems using uml. *Citeseer 2002*.
- Dastani, M., Dignum, V., and Dignum, F. (2003). Role-assignment in open agent societies. In *Proceedings of the second international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 489–496. ACM.
- Davidsson, P. (2001). Categories of artificial societies. *Engineering Societies in the Agents World II*, pages 1–9.
- Davidsson, P. and Johansson, S. (2006). On the potential of norm-governed behavior in different categories of artificial societies. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 12(2-3):169–180.
- Daxer, A. (1993). The fractal geometry of proliferative diabetic retinopathy: implications for the diagnosis and the process of retinal vasculogenesis. *Current eye research*, 12(12):1103–1109.
- De Amicis, R., Conti, G., Patti, D., Ford, M., and Elisei, P. (2012). *I-Scope-Interoperable Smart City Services through an Open Platform for Urban Ecosystems*. na.
- De Faria, H., Costa, J. G. S., and Olivas, J. L. M. (2015). A review of monitoring methods for predictive maintenance of electric power transformers based on dissolved gas analysis. *Renewable and sustainable energy reviews*, 46:201–209.
- de la Prieta, F. (2014). *Sistemas organizativos para la asignación dinámica de recursos computacionales en entornos distribuidos*. PhD thesis, Universidad de Salamanca.
- De la Prieta, F., Rodríguez, S., Bajo, J., and Corchado, J. M. (2014). + cloud: A virtual organization of multiagent system for resource allocation into a cloud computing

- environment. In *Transactions on Computational Collective Intelligence XV*, pages 164–181. Springer.
- De Paz, J. F., Bajo, J., Rodríguez, S., Villarrubia, G., and Corchado, J. M. (2016). Intelligent system for lighting control in smart cities. *Information Sciences*, 372:241–255.
- De Paz, J. F., Rodríguez, S., Bajo, J., and Corchado, J. M. (2009). Mathematical model for dynamic case-based planning. *International Journal of Computer Mathematics*, 86(10-11):1719–1730.
- De Paz, J. F., Tapia, D. I., Alonso, R. S., Pinzón, C. I., Bajo, J., and Corchado, J. M. (2013). Mitigation of the ground reflection effect in real-time locating systems based on wireless sensor networks by using artificial neural networks. *Knowledge and information systems*, pages 1–25.
- Dehghani, M. and Tumer, M. (2015). A research on effectiveness of facebook advertising on enhancing purchase intention of consumers. *Computers in Human Behavior*, 49:597–600.
- Deng, H., Zhang, W., Mortensen, E., Dietterich, T., and Shapiro, L. (2007). Principal curvature-based region detector for object recognition. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. CVPR'07. IEEE Conference on*, pages 1–8. IEEE.
- Di Mascio, T., Vittorini, P., Gennari, R., Melonio, A., De La Prieta, F., and Alrifai, M. (2012). The learners' user classes in the terence adaptive learning system. In *Advanced Learning Technologies (ICALT), 2012 IEEE 12th International Conference on*, pages 572–576. IEEE.
- d'Inverno, M., Luck, M., and Luck, M. M. (2004). *Understanding agent systems*. Springer Science & Business Media.
- Dirks, S. and Keeling, M. (2009). A vision of smarter cities: How cities can lead the way into a prosperous and sustainable future. *Somers, NY: IBM Global Business Services*.
- Dixon, E., Enos, E., and Brodmerkle, S. (2011). A/b testing of a webpage. US Patent 7,975,000.
- Do, P., Voisin, A., Levrat, E., and Iung, B. (2015). A proactive condition-based maintenance strategy with both perfect and imperfect maintenance actions. *Reliability Engineering & System Safety*, 133:22–32.
- Dong, M., Ota, K., Yang, L. T., Chang, S., Zhu, H., and Zhou, Z. (2014). Mobile agent-based energy-aware and user-centric data collection in wireless sensor networks. *Computer Networks*, 74:58–70.

- Dunning, T. and Friedman, E. (2016). *Streaming Architecture: New Designs Using Apache Kafka and MapR Streams*. ” O’Reilly Media, Inc.”.
- Ege, B. M., Hejlesen, O. K., Larsen, O. V., Møller, K., Jennings, B., Kerr, D., and Cavan, D. A. (2000). Screening for diabetic retinopathy using computer based image analysis and statistical classification. *Computer methods and programs in biomedicine*, 62(3):165–175.
- Eger, J. M. (2009). Smart growth, smart cities, and the crisis at the pump a worldwide phenomenon. *I-WAYS-The Journal of E-Government Policy and Regulation*, 32(1):47–53.
- Eltawil, M. A. and Zhao, Z. (2010). Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1):112–129.
- Ferber, J., Gutknecht, O., and Michel, F. (2004). From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems. *Lecture notes in computer science*, pages 214–230.
- Fidalgo, R. L. and Rodriguez, J. (2001). Creation of deliberative agents using a cbr model. *Computing and Information Systems*, 8(2):33–39.
- Foster, I., Zhao, Y., Raicu, I., and Lu, S. (2008). Cloud computing and grid computing 360-degree compared. In *Grid Computing Environments Workshop, 2008. GCE’08*, pages 1–10. Ieee.
- Gantz, J. and Reinsel, D. (2012). The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east. *IDC iView: IDC Analyze the future*, 2007(2012):1–16.
- Garca-Magario, I., Gómez-Sanz, J., and Fuentes, R. (2009). Ingenias development assisted with model transformation by-example. *PAAMS09*, pages 40–49.
- García, Ó., Alonso, R. S., Prieto, J., and Corchado, J. M. (2017). Energy efficiency in public buildings through context-aware social computing. *Sensors*, 17(4):826.
- Garcia-Ortiz, L., Gómez-Marcos, M. A., Recio-Rodríguez, J. I., Maderuelo-Fernández, J. A., Chamoso-Santos, P., Rodríguez-González, S., de Paz-Santana, J. F., Merchan-Cifuentes, M. A., and Corchado-Rodríguez, J. M. (2014). Validation of the automatic image analyser to assess retinal vessel calibre (altair): a prospective study protocol. *BMJ open*, 4(12):e006144.

- Garcia-Ortiz, L., Perez-Ramos, H., Chamoso-Santos, P., Recio-Rodriguez, J., Garcia-Garcia, A., Maderuelo-Fernandez, J., Gomez-Sanchez, L., Martínez-Perez, P., Rodriguez-Martin, C., De Cabo-Laso, A., et al. (2016). [pp. 08.02] automatic image analyzer to assess retinal vessel caliber (altair) tool validation for the analysis of retinal vessels. *Journal of Hypertension*, 34:e160.
- García-Ortiz, L., Recio-Rodríguez, J. I., Parra-Sanchez, J., Elena, L. J. G., Patino-Alonso, M. C., Agudo-Conde, C., Rodríguez-Sánchez, E., Gómez-Marcos, M. A., et al. (2012). A new tool to assess retinal vessel caliber. reliability and validity of measures and their relationship with cardiovascular risk. *Journal of hypertension*, 30(4):770–777.
- Gâteau, B., Boissier, O., Khadraoui, D., and Dubois, E. (2005). Moiseinst: An organizational model for specifying rights and duties of autonomous agents. *EUMAS*, 2005:484–485.
- Gatzoulis, L. and Iakovidis, I. (2007). Wearable and portable ehealth systems. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 26(5):51–56.
- Gerla, M., Lee, E.-K., Pau, G., and Lee, U. (2014). Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds. In *Internet of Things (WF-IoT), 2014 IEEE World Forum on*, pages 241–246. IEEE.
- Ghazvini, M. F., Morais, H., and Vale, Z. (2012). Coordination between mid-term maintenance outage decisions and short-term security-constrained scheduling in smart distribution systems. *Applied energy*, 96:281–291.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., and Meijers, E. (2007). Smart cities: Ranking of european medium-sized cities. vienna, austria: Centre of regional science (srf), vienna university of technology. http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf. 2017-01-15.
- Goldberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, 1989. *Reading: Addison-Wesley*.
- Gomes, L., Faria, P., Morais, H., Vale, Z., and Ramos, C. (2014). Distributed, agent-based intelligent system for demand response program simulation in smart grids. *IEEE Intelligent Systems*, 29(1):56–65.
- Gonçalves, R. S. and Carvalho, J. C. M. (2013). Review and latest trends in mobile robots used on power transmission lines. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 10(12):408.

- Gretzel, U., Sigala, M., Xiang, Z., and Koo, C. (2015). Smart tourism: foundations and developments. *Electronic Markets*, 25(3):179–188.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7):1645–1660.
- Hahn, C., Madrigal-Mora, C., and Fischer, K. (2009). A platform-independent metamodel for multiagent systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 18(2):239–266.
- Hancke, G. P., Hancke Jr, G. P., et al. (2012). The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors*, 13(1):393–425.
- Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., and Williams, P. (2010). Foundations for smarter cities. *IBM Journal of Research and Development*, 54(4):1–16.
- Hecht, R. and Jablonski, S. (2011). Nosql evaluation: A use case oriented survey. In *Cloud and Service Computing (CSC), 2011 International Conference on*, pages 336–341. IEEE.
- Heng, T. M. and Low, L. (1993). The intelligent city: Singapore achieving the next lap: Practitioners forum. *Technology Analysis & Strategic Management*, 5(2):187–202.
- Hennig, C. and Liao, T. F. (2013). How to find an appropriate clustering for mixed-type variables with application to socio-economic stratification. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 62(3):309–369.
- Herlocker, J. L., Konstan, J. A., Terveen, L. G., and Riedl, J. T. (2004). Evaluating collaborative filtering recommender systems. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 22(1):5–53.
- Hernandez, L., Baladron, C., Aguiar, J. M., Carro, B., Sanchez-Esguevillas, A. J., Lloret, J., and Massana, J. (2014). A survey on electric power demand forecasting: future trends in smart grids, microgrids and smart buildings. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3):1460–1495.
- Higgins, L. R., Mobley, R. K., Smith, R., et al. (2002). *Maintenance engineering handbook*. McGraw-Hill,.
- Holland, J. H. (1975). Adaptation in natural and artificial systems. an introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. *Ann Arbor, MI: University of Michigan Press*.

- Hollands, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, 12(3):303–320.
- Hong, W.-C., Dong, Y., Chen, L.-Y., and Wei, S.-Y. (2011). Svr with hybrid chaotic genetic algorithms for tourism demand forecasting. *Applied Soft Computing*, 11(2):1881–1890.
- Hörold, S., Mayas, C., and Krömker, H. (2015). Towards paperless mobility information in public transport. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pages 340–349. Springer.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., and Boissier, O. (2002). A model for the structural, functional, and deontic specification of organizations in multiagent systems. In *Brazilian Symposium on Artificial Intelligence*, pages 118–128. Springer.
- Huhns, M. N. and Stephens, L. M. (1999). Multiagent systems and societies of agents. *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*, 1:79–114.
- Hussain, A., Wenbi, R., da Silva, A. L., Nadher, M., and Mudhish, M. (2015). Health and emergency-care platform for the elderly and disabled people in the smart city. *Journal of Systems and Software*, 110:253–263.
- Iera, A., Floerkemeier, C., Mitsugi, J., and Morabito, G. (2010). The internet of things [guest editorial]. *IEEE Wireless Communications*, 17(6):8–9.
- Ishida, T., Ishiguro, H., and Nakanishi, H. (2002). Connecting digital and physical cities. *Digital Cities II: Computational and Sociological Approaches*, pages 183–188.
- Jamack, P. J. and Jamack, P. J. (2012). Big data business intelligence analytics. *IBM developer Works Technical library*.
- Jannach, D., Zanker, M., Felfernig, A., and Friedrich, G. (2010). *Recommender systems: an introduction*. Cambridge University Press.
- Janssen, M., Charalabidis, Y., and Zuiderwijk, A. (2012). Benefits, adoption barriers and myths of open data and open government. *Information systems management*, 29(4):258–268.
- Janssen, M. and van den Hoven, J. (2015). Big and open linked data (bold) in government: A challenge to transparency and privacy?
- Jennings, N. R. and Wooldridge, M. J. (1998). Applications of intelligent agents.
- Jensen, R. M. (2000). Obdd-based universal planning for synchronized agents in non-deterministic domains `rune m. jensen@cs.cmu.edu` `manuela m. veloso`

- mmv@cs.cmu.edu computer science department, carnegie mellon university. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 13:189–226.
- Jeske, T. (2013). Floating car data from smartphones: What google and waze know about you and how hackers can control traffic. *Proc. of the BlackHat Europe*, pages 1–12.
- Juan, T., Pearce, A., and Sterling, L. (2002). Roadmap: extending the gaia methodology for complex open systems. In *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*, pages 3–10. ACM.
- Kakas, A. C. (2017). A/b testing.
- Kanter, J. M. and Veeramachaneni, K. (2015). Deep feature synthesis: Towards automating data science endeavors. In *Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2015. 36678 2015. IEEE International Conference on*, pages 1–10. IEEE.
- Karnouskos, S. and De Holanda, T. N. (2009). Simulation of a smart grid city with software agents. In *Computer Modeling and Simulation, 2009. EMS'09. Third UKSim European Symposium on*, pages 424–429. IEEE.
- Kautz, H. and Selman, B. (2006). Satplan04: Planning as satisfiability. *Working Notes on the Fifth International Planning Competition (IPC-2006)*, pages 45–46.
- Kavaratzis, M. (2004). From city marketing to city branding: Towards a theoretical framework for developing city brands. *Place branding*, 1(1):58–73.
- Keeling, R. (2006). The bologna process and the lisbon research agenda: the european commission's expanding role in higher education discourse. *European journal of education*, 41(2):203–223.
- Khan, Z., Pervez, Z., and Ghafoor, A. (2014). Towards cloud based smart cities data security and privacy management. In *Utility and cloud computing (UCC), 2014 IEEE/ACM 7th international conference on*, pages 806–811. IEEE.
- Kim, T., Cho, J. Y., and Lee, B. G. (2013). Evolution to smart learning in public education: a case study of korean public education. In *Open and Social Technologies for Networked Learning*, pages 170–178. Springer.
- Kitchin, R. (2014). The real-time city? big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1):1–14.
- Kolp, M., Giorgini, P., and Mylopoulos, J. (2006). Multi-agent architectures as organizational structures. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 13(1):3–25.

- Koo, C., Ricci, F., Cobanoglu, C., and Okumus, F. (2017). Special issue on smart, connected hospitality and tourism. *Information Systems Frontiers*, pages 1–5.
- Krackhardt, D., Nohria, N., and Eccles, B. (2003). The strength of strong ties. *Networks in the knowledge economy*, page 82.
- Krawetz, N. (2011). Looks like it. <http://www.hackerfactor.com/blog/index.php?/archives/\432-Looks-LikeIt.html>. 2017-03-15.
- Krawetz, N. (2013). Kind of like that. <http://www.hackerfactor.com/blog/?/archives/\529-Kind-of-Like-That.html>. 2017-03-15.
- Krishnanand, K., Dash, P., and Naeem, M. (2015). Detection, classification, and location of faults in power transmission lines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 67:76–86.
- Kruskal, W. H. and Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American statistical Association*, 47(260):583–621.
- Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., Bell, M., Norford, L., and Britter, R. (2015). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment international*, 75:199–205.
- Labidi, S. and Lejouad, W. (1993). *De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents*. PhD thesis, INRIA.
- Lea, R. (2013). Hypercat: an iot interoperability specification.
- Linden, G., Smith, B., and York, J. (2003). Amazon. com recommendations: Item-to-item collaborative filtering. *IEEE Internet computing*, 7(1):76–80.
- Linstone, H. A., Turoff, M., et al. (2002). *The Delphi method: Techniques and applications*, volume 18. Addison-Wesley Publishing Company, Advanced Book Program.
- Liu, X. and Aberer, K. (2013). Soco: a social network aided context-aware recommender system. In *Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web*, pages 781–802. ACM.
- Lohr, S. (2007). Google and ibm join in ‘cloud computing’ research. *New York Times*, 8.
- Longo, M., Roscia, M., and Lazaroiu, G. C. (2014). Innovating multi-agent systems applied to smart city. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(20):4269–4302.

- Macía, I., Graña, M., and Paloc, C. (2012). Knowledge management in image-based analysis of blood vessel structures. *Knowledge and Information Systems*, 30(2):457–491.
- Mahizhnan, A. (1999). Smart cities: The singapore case. *Cities*, 16(1):13–18.
- Mahmud, T., Hasan, M., Chakraborty, A., and Roy-Chowdhury, A. K. (2016). A poisson process model for activity forecasting. In *Image Processing (ICIP), 2016 IEEE International Conference on*, pages 3339–3343. IEEE.
- Mainster, M. A. (1990). The fractal properties of retinal vessels: embryological and clinical implications. *Eye*, 4(1):235–241.
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., and Byers, A. H. (2011). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity.
- Martinez-Perez, M. E., Hughes, A. D., Thom, S. A., Bharath, A. A., and Parker, K. H. (2007). Segmentation of blood vessels from red-free and fluorescein retinal images. *Medical image analysis*, 11(1):47–61.
- Mas, A. (2005). *Agentes software y sistemas multiagente: conceptos, arquitecturas y aplicaciones*. Prentice Hall.
- Matas, J., Chum, O., Urban, M., and Pajdla, T. (2004). Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions. *Image and vision computing*, 22(10):761–767.
- Matsopoulos, G. K., Mouravliansky, N. A., Delibasis, K. K., and Nikita, K. S. (1999). Automatic retinal image registration scheme using global optimization techniques. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 3(1):47–60.
- Mell, P., Grance, T., et al. (2011). The nist definition of cloud computing.
- Mena, J. (2002). Vectorización automática de una imagen binaria mediante k-means y degeneración de la triangulación de delaunay. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, 7:21–29.
- Michalski, R. S., Carbonell, J. G., and Mitchell, T. M. (2013). *Machine learning: An artificial intelligence approach*. Springer Science & Business Media.
- Minerva, R., Biru, A., and Rotondi, D. (2015). Towards a definition of the internet of things (iot). *IEEE Internet Initiative*, (1).
- Moniruzzaman, A. and Hossain, S. A. (2013). Nosql database: New era of databases for big data analytics-classification, characteristics and comparison. *arXiv preprint arXiv:1307.0191*.

- Moore, M. H. (1995). *Creating public value: Strategic management in government*. Harvard university press.
- Moreno, M., Úbeda, B., Skarmeta, A. F., and Zamora, M. A. (2014). How can we tackle energy efficiency in iot based smart buildings? *Sensors*, 14(6):9582–9614.
- Moss Kanter, R. and Litow, S. S. (2009). Informed and interconnected: A manifesto for smarter cities. *Harvard Business School General Management Unit Working Paper*, (09-141).
- Mukherjee, A. (2016). Iot and the rise of smart machines - prosperity or doomsday. In *International Conference on Digital Libraries (ICDL) 2016: Smart Future: Knowledge Trends that will Change the Workd*, pages 116–125. The Energy and Resources Institute.
- Na, M. G. (2001). Auto-tuned pid controller using a model predictive control method for the steam generator water level. *IEEE Transactions on Nuclear science*, 48(5):1664–1671.
- Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., and Scorrano, F. (2014). Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38:25–36.
- Nguyen, T. A. and Aiello, M. (2013). Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and buildings*, 56:244–257.
- Nguyen, T. T., Wang, J. J., Sharrett, A. R., Islam, F. A., Klein, R., Klein, B. E., Cotch, M. F., and Wong, T. Y. (2008). Relationship of retinal vascular caliber with diabetes and retinopathy. *Diabetes care*, 31(3):544–549.
- Norouzi, M., Fleet, D. J., and Salakhutdinov, R. R. (2012). Hamming distance metric learning. In *Advances in neural information processing systems*, pages 1061–1069.
- Nowicka, K. (2014). Smart city logistics on cloud computing model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 151:266–281.
- Nwana, H. S. (1996). Software agents: An overview. *The knowledge engineering review*, 11(3):205–244.
- Odell, J., Parunak, H. V. D., and Bauer, B. (2000). Extending uml for agents. *Ann Arbor*, 1001:48103.
- Okkonen, H., Mazhelis, O., Ahokangas, P., Pussinen, P., Rajahonka, M., Siuruainen, R., Leminen, S., Shveykovskiy, A., Myllykoski, J., and Warma, H. (2013). Internet-of-things market, value networks, and business models: state of the art report. *Computer science and information systems reports. TR, Technical reports 39*.

- Ortega, M., Barreira, N., Novo, J., Penedo, M. G., Pose-Reino, A., and Gómez-Ulla, F. (2010). Sirius: a web-based system for retinal image analysis. *International journal of medical informatics*, 79(10):722–732.
- Padgham, L. and Winikoff, M. (2002). Prometheus: A methodology for developing intelligent agents. In *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*, pages 37–38. ACM.
- Park, D. H., Kim, H. K., Choi, I. Y., and Kim, J. K. (2012). A literature review and classification of recommender systems research. *Expert Systems with Applications*, 39(11):10059–10072.
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., and Georgakopoulos, D. (2014). Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1):81–93.
- Perng, S.-Y., Kitchin, R., and Mac Donncha, D. (2017). Hackathons, entrepreneurship and the passionate making of smart cities.
- Piatetsky-Shapiro, G. (1991). Discovery, analysis and presentation of strong rules. *Knowledge discovery in databases*, pages 229–248.
- Podoleanu, A. G. and Rosen, R. B. (2008). Combinations of techniques in imaging the retina with high resolution. *Progress in retinal and eye research*, 27(4):464–499.
- Pokorny, J. (2013). Nosql databases: a step to database scalability in web environment. *International Journal of Web Information Systems*, 9(1):69–82.
- Qi, L. and Shaofu, L. (2001). Research on digital city framework architecture. In *Info-tech and Info-net, 2001. Proceedings. ICII 2001-Beijing. 2001 International Conferences on*, volume 1, pages 30–36. IEEE.
- Rahmani, A., Ji, M., Mesbahi, M., and Egerstedt, M. (2009). Controllability of multi-agent systems from a graph-theoretic perspective. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 48(1):162–186.
- Rajendran, S. (2016). *Learning VMware vRealize Automation*. Packt Publishing Ltd.
- Reason, P. and Bradbury, H. (2001). *Handbook of action research: Participative inquiry and practice*. Sage.
- Reboredo, L. et al. (2014). Modelo de asignación de roles y distribución de tareas en organizaciones virtuales.
- Reeves, C. R. (1993). Using genetic algorithms with small populations. In *ICGA*, volume 590, page 92.

- Reitmayr, G. and Drummond, T. (2006). Going out: robust model-based tracking for outdoor augmented reality. In *Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 109–118. IEEE Computer Society.
- Ridel, B., Reuter, P., Laviolle, J., Mellado, N., Couture, N., and Granier, X. (2014). The revealing flashlight: Interactive spatial augmented reality for detail exploration of cultural heritage artifacts. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 7(2):6.
- Rodríguez, S., de Paz, Y., Bajo, J., and Corchado, J. M. (2011a). Social-based planning model for multiagent systems. *Expert Systems with Applications*, 38(10):13005–13023.
- Rodríguez, S., Tapia, D., De Paz, F., and De la Prieta, F. (2011b). Virtual organizations in information fusion. *Highlights in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems*, pages 195–202.
- Roscia, M., Longo, M., and Lazaroiu, G. C. (2013). Smart city by multi-agent systems. In *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2013 International Conference on*, pages 371–376. IEEE.
- Ruble, E., Rabaud, V., Konolige, K., and Bradski, G. (2011). Orb: An efficient alternative to sift or surf. In *Computer Vision (ICCV), 2011 IEEE International Conference on*, pages 2564–2571. IEEE.
- Rudolf, G., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., and Meijers, E. (2007). Smart cities-ranking of european medium-sized cities. *Rapport technique, Vienna Centre of Regional Science*.
- Russell, S., Norvig, P., and Intelligence, A. (1995). A modern approach. *Artificial Intelligence. Prentice-Hall, Egnlewood Cliffs*, 25:27.
- Russom, P. (2013). Managing big data. *TDWI BEST PRACTICES REPORT*, 4:1–40.
- Said, O. and Masud, M. (2013). Towards internet of things: Survey and future vision. *International Journal of Computer Networks*, 5(1):1–17.
- Sánchez, C. I., Hornero, R., López, M. I., Aboy, M., Poza, J., and Abásolo, D. (2008). A novel automatic image processing algorithm for detection of hard exudates based on retinal image analysis. *Medical Engineering & Physics*, 30(3):350–357.
- Seber, G. A. and Lee, A. J. (2012). *Linear regression analysis*, volume 936. John Wiley & Sons.
- Shigeru, O. (2012). M2m and big data to realize the smart city. *NEC Technical Journal*, 7(2).

- Shoro, A. G. and Soomro, T. R. (2015). Big data analysis: Apache spark perspective. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 15(1).
- Shrouf, F., Ordieres, J., and Miragliotta, G. (2014). Smart factories in industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the internet of things paradigm. In *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2014 IEEE International Conference on*, pages 697–701. IEEE.
- Sigurbjörnsson, B. and Van Zwol, R. (2008). Flickr tag recommendation based on collective knowledge. In *Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web*, pages 327–336. ACM.
- Singh, J., Gandhi, K., Kapoor, M., and Dwivedi, A. (2013). New approaches for live wire maintenance of transmission lines. *MIT Int. J. Electr. Instrum. Eng*, 3(2):67–71.
- Sivapalan, S., Sadeghian, A., Rahnama, H., and Madni, A. M. (2014). Recommender systems in e-commerce. In *World Automation Congress (WAC), 2014*, pages 179–184. IEEE.
- Smith, C. A., Corripio, A. B., and Basurto, S. D. M. (1991). *Control automático de procesos: teoría y práctica*. Number 968-18-3791-6. 01-A3 LU. AL-PCS. 1. Limusa.
- Smith, S. M. and Brady, J. M. (1997). Susan—a new approach to low level image processing. *International journal of computer vision*, 23(1):45–78.
- Solanas, A., Patsakis, C., Conti, M., Vlachos, I. S., Ramos, V., Falcone, F., Postolache, O., Pérez-Martínez, P. A., Di Pietro, R., Perrea, D. N., et al. (2014). Smart health: a context-aware health paradigm within smart cities. *IEEE Communications Magazine*, 52(8):74–81.
- Sousa, T., Morais, H., Soares, J., and Vale, Z. (2012). Day-ahead resource scheduling in smart grids considering vehicle-to-grid and network constraints. *Applied Energy*, 96:183–193.
- Suthaharan, S. (2014). Big data classification: Problems and challenges in network intrusion prediction with machine learning. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 41(4):70–73.
- Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International journal of production economics*, 70(3):237–244.
- Taher, S. A. and Sadeghkhani, I. (2010). Estimation of magnitude and time duration of temporary overvoltages using ann in transmission lines during power system restoration. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(6):787–805.

- Tanabe, Y., Kawasaki, R., Wang, J. J., Wong, T. Y., Mitchell, P., Daimon, M., Oizumi, T., Kato, T., Kawata, S., Kayama, T., et al. (2010). Retinal arteriolar narrowing predicts 5-year risk of hypertension in japanese people: the funagata study. *Microcirculation*, 17(2):94–102.
- Tikellis, G., Arnett, D. K., Skelton, T. N., Taylor, H. W., Klein, R., Couper, D. J., Richey Sharrett, A., and Yin Wong, T. (2008). Retinal arteriolar narrowing and left ventricular hypertrophy in african americans. the atherosclerosis risk in communities (aric) study. *American journal of hypertension*, 21(3):352–359.
- TinEye (2017). Tineye reverse image search. <https://www.tineye.com/>. 2017-03-15.
- Trappey, A. J., Trappey, C. V., Ma, L., and Chang, J. C. (2015). Intelligent engineering asset management system for power transformer maintenance decision supports under various operating conditions. *Computers & Industrial Engineering*, 84:3–11.
- Uzairiah Mohd Tobi, S., Amaratunga, D., and Mohd Noor, N. (2013). Social enterprise applications in an urban facilities management setting. *Facilities*, 31(5/6):238–254.
- Van Rijmenam, M. (2013). From big data to big mac; how mcdonalds leverages big data. <https://datafloq.com/read/from-big-data-to-big-mac-how-mcdonalds-leverages-b/403>. 2016-01-10.
- Vapnik, V. N. and Vapnik, V. (1998). *Statistical learning theory*, volume 1. Wiley New York.
- Viitanen, J. and Kingston, R. (2014). Smart cities and green growth: outsourcing democratic and environmental resilience to the global technology sector. *Environment and Planning A*, 46(4):803–819.
- Villaplana, E. A. and Inglada, V. J. (2008). *GORMAS: Guías para el desarrollo de Sistemas multi-agente abiertos basados en organizaciones*. PhD thesis, PhD thesis, UPV, Spain.
- Von Laszewski, G., Diaz, J., Wang, F., and Fox, G. C. (2012). Comparison of multiple cloud frameworks. In *Cloud Computing (CLOUD), 2012 IEEE 5th International Conference on*, pages 734–741. IEEE.
- Wang, J. and Zhang, Y. (2013). Opportunity model for e-commerce recommendation: right product; right time. In *Proceedings of the 36th international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, pages 303–312. ACM.

- Wang, J., Zhang, Y., Cheng, Z., and Zhu, X. (2016). Emip: energy-efficient itinerary planning for multiple mobile agents in wireless sensor network. *Telecommunication Systems*, 62(1):93–100.
- Wang, L., Von Laszewski, G., Younge, A., He, X., Kunze, M., Tao, J., and Fu, C. (2010). Cloud computing: a perspective study. *New Generation Computing*, 28(2):137–146.
- Wang, Z., Liao, J., Cao, Q., Qi, H., and Wang, Z. (2015). Friendbook: a semantic-based friend recommendation system for social networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 14(3):538–551.
- Weibull, W. (1951). Wide applicability. *Journal of applied mechanics*, 103(730):293–297.
- Weinberg, J., Brown, L. D., and Stroud, J. R. (2007). Bayesian forecasting of an inhomogeneous poisson process with applications to call center data. *Journal of the American Statistical Association*, 102(480):1185–1198.
- Weissman, C. D. and Bobrowski, S. (2009). The design of the force. com multitenant internet application development platform. In *Proceedings of the 2009 ACM SIGMOD International Conference on Management of data*, pages 889–896. ACM.
- Wilson, C., Hargreaves, T., and Hauxwell-Baldwin, R. (2015). Smart homes and their users: a systematic analysis and key challenges. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(2):463–476.
- Winder, R. J., Morrow, P. J., McRitchie, I. N., Bailie, J., and Hart, P. M. (2009). Algorithms for digital image processing in diabetic retinopathy. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 33(8):608–622.
- Wong, T. Y., Duncan, B. B., Golden, S. H., Klein, R., Couper, D. J., Klein, B. E., Hubbard, L. D., Sharrett, A. R., and Schmidt, M. I. (2004). Associations between the metabolic syndrome and retinal microvascular signs: the atherosclerosis risk in communities study. *Investigative ophthalmology & visual science*, 45(9):2949–2954.
- Wong, T. Y., Klein, R., Sharrett, A. R., Duncan, B. B., Couper, D. J., Tielsch, J. M., Klein, B. E., and Hubbard, L. D. (2002). Retinal arteriolar narrowing and risk of coronary heart disease in men and women: the atherosclerosis risk in communities study. *Jama*, 287(9):1153–1159.
- Wooldridge, M. (1999). Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence. *Gerhard Weiss*.
- Wooldridge, M. and Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. *The knowledge engineering review*, 10(2):115–152.

- Wooldridge, M., Jennings, N. R., and Kinny, D. (2000). The gaia methodology for agent-oriented analysis and design. *Autonomous Agents and multi-agent systems*, 3(3):285–312.
- Wu, G., Talwar, S., Johnsson, K., Himayat, N., and Johnson, K. D. (2011). M2m: From mobile to embedded internet. *IEEE Communications Magazine*, 49(4).
- Wu, X., Zhu, X., Wu, G.-Q., and Ding, W. (2014). Data mining with big data. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 26(1):97–107.
- Yatsuya, H., Folsom, A. R., Wong, T. Y., Klein, R., Klein, B. E., Sharrett, A. R., et al. (2010). Retinal microvascular abnormalities and risk of lacunar stroke. *Stroke*, 41(7):1349–1355.
- Zambonelli, F., Jennings, N. R., and Wooldridge, M. (2003). Developing multiagent systems: The gaia methodology. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*, 12(3):317–370.
- Zana, F. and Klein, J.-C. (1997). Robust segmentation of vessels from retinal angiography. In *Digital Signal Processing Proceedings, 1997. DSP 97., 1997 13th International Conference on*, volume 2, pages 1087–1090. IEEE.
- Zana, F. and Klein, J.-C. (1999). A multimodal registration algorithm of eye fundus images using vessels detection and hough transform. *IEEE transactions on Medical Imaging*, 18(5):419–428.
- Zarnani, A., Musilek, P., Shi, X., Ke, X., He, H., and Greiner, R. (2012). Learning to predict ice accretion on electric power lines. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(3):609–617.
- Zaslavsky, A., Perera, C., and Georgakopoulos, D. (2013). Sensing as a service and big data. *arXiv preprint arXiv:1301.0159*.
- Zhou, D., Zhang, H., and Weng, S. (2014). A novel prognostic model of performance degradation trend for power machinery maintenance. *Energy*, 78:740–746.
- Zhuhadar, L., Thrasher, E., Marklin, S., and de Pablos, P. O. (2017). The next wave of innovation—review of smart cities intelligent operation systems. *Computers in Human Behavior*, 66:273–281.