



Resumen de la Tesina de Máster.

Master Oficial en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Título: *Diseño óptimo de sistemas de distribución de agua mediante Particle Swarm Optimization*

Alumno/a: Ing. Idel Montalvo Arango **E-mail** *imontalvo@gmmf.upv.es*

Director/a: *Dr. Joaquín Izquierdo Sebastián*

Codirector/es: *Dr. Rafael Pérez García*

Resumen: **Castellano** (máximo 2000 palabras)

La necesidad de hacer eficientes y económicamente viables las grandes inversiones necesarias para la construcción y el mantenimiento de las redes de abastecimiento de agua, hace que se preste especial atención al diseño de este tipo de redes. Concebir soluciones económicamente optimizadas y que garanticen un adecuado funcionamiento de los sistemas de distribución de agua (SDA), tomando en cuenta la fiabilidad de la red para ofrecer sus servicios, incluso ante posibles condiciones de fallo, es uno de los grandes retos que han tenido desde hace muchos años varios hombres y mujeres de ciencias que han trabajado el tema. Se impone obtener los mayores beneficios con los menores costes.

La función objetivo a utilizar diferirá en dependencia del problema que se aborde: ampliación, rehabilitación, nuevo diseño, operación. No puede decirse que exista actualmente una única función objetivo, ni que las existentes sean definitivamente las más convenientes, incluso para abordar el mismo problema. Esto hace que se muestre útil el uso de técnicas de optimización que puedan adaptarse directamente a cualquier función objetivo.

En los últimos 10 años, varios investigadores se han desviado de las técnicas tradicionales de optimización basadas en la programación lineal y no lineal, para dirigirse hacia la implementación de Algoritmos Evolutivos. En esta investigación se proponen soluciones para el diseño óptimo de SDA basadas en el empleo de un algoritmo evolutivo conocido como Particle Swarm Optimization (PSO).

El algoritmo PSO fue desarrollado por Kennedy y Eberhart en el año 1995, y está inspirado en el comportamiento social de un grupo de pájaros migratorios tratando de alcanzar un destino desconocido. Cada pájaro está dotado de inteligencia personal pero, también, existe una comunicación gremial que da origen a la inteligencia colectiva con que se mueve la bandada. El movimiento de cada pájaro en el espacio de soluciones se calcula de acuerdo a su historial reciente, a su percepción personal y a la influencia que sobre él ejerce el líder (el pájaro que mejor posición haya encontrado en el espacio). El proceso de búsqueda se detiene luego de satisfacer alguna condición de terminación. El movimiento se realiza en un espacio multi-dimensional con tantas dimensiones como variables tenga el problema; el vector de posición de un pájaro en dicho espacio representa una solución potencial.

El trabajo que se presenta transforma el algoritmo original PSO para que pueda ser aplicado al diseño óptimo de SDA, introduciéndose también varias

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



mejoras que pueden ser aplicadas igualmente a problemas de diferente naturaleza al tratado en esta investigación. Estas transformaciones están basadas fundamentalmente en a) la posibilidad de trabajar tanto con variables continuas como discretas, b) el mantenimiento de la diversidad de la población de soluciones con que trabaja el algoritmo y c) el tratamiento de los parámetros involucrados, que está fundamentado en una filosofía multiagente.

El diseño de dos ejemplos de benchmarking clásicos permitió comparar los resultados del algoritmo con soluciones encontradas por otros autores. Se comprobó que, efectivamente, el algoritmo, con la introducción de las citadas modificaciones, tiene un desempeño excelente. Posteriormente, fueron resueltos otros casos que correspondían a situaciones reales de diseño. Desde el punto de vista hidráulico, las soluciones son mejoradas a partir de la introducción de una reciente formulación publicada en (Martínez, 2007) para la evaluación económica de los resultados de diseño. En el trabajo se manifiesta cómo estas mejoras posibilitan la obtención de soluciones que presentan una mayor fiabilidad en el funcionamiento ante posibles condiciones de fallo. En los ejemplos que se han abordado en este trabajo, las mejoras en la fiabilidad no implicaron un aumento excesivo de los costes de inversión inicial. Por otra parte, el enfoque multi-agente que se ha dado al algoritmo de optimización deja las puertas abiertas hacia formulaciones multi-objetivo del problema de diseño de los SDA. El mecanismo de cálculo de la propuesta de PSO, unido al motor de EPANET2 para el análisis hidráulico de soluciones, ha estado soportado por la implementación de una aplicación informática que permite a los profesionales dedicados al diseño de SDA el empleo de la investigación que se presenta en su actividad práctica.

Inglés (máximo 2000 palabras)

Optimal design of water distribution system using Particle Swarm Optimization

The investment required for construction and maintenance of water distribution systems (WDS) should be efficient and viable from an economical point of view, because of the big amount of money normally being involved. One of the big challenges that engineers, mathematicians, economists and politicians have faced for years, is to find optimal solutions for the design of WDS, taking into consideration the plurality of objectives related to the problem. It is necessary to obtain the biggest benefits at the lowest costs, and solutions should be reliable enough to deal with possible failure situations in WDS.

Depending on the problem at hand (new design, expansion, rehabilitation, operation), objective functions will be different. It can be said that neither there is a unique objective function nor existing ones are definitively the most convenient, even for one and the same problem. As a consequence, using optimization techniques that can be directly adapted to any kind of objective function is something very desirable to find good design solutions.

For the last decade, many researchers in the field have changed direction, leaving aside traditional optimization techniques based on linear and nonlinear programming and embarked on the implementation of Evolutionary Algorithms. In this work, design solutions of WDS are addressed by using an evolutionary algorithm known as Particle Swarm Optimization (PSO).

PSO was developed by Kennedy and Eberhart in 1995 and is based on the behaviour of a flock of birds in their endeavour to reach, when flying through the field (search space), their unknown destination (fitness function), e.g. the location of food resources. Initially a number of particles are randomly generated. Then, particles evolve in terms of their recent history, their

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



individual perception and the social influence exerted by the leader: the bird in the best position. Flocks movements are carried out in a multi-dimensional space with as many dimensions as decision variables are in the problem. In PSO, each bird of the flock can be referred to as a particle; its position vector in the multi-dimensional space represents a potential solution of the problem.

In this work, the original PSO algorithm is transformed so as to be efficiently applied to the design of WDS. At the same time, several modifications are proposed that improve the performance of the algorithm itself, even when applied to problems of different nature. These modifications basically allow a) joint work with continuous and discrete variables, b) increase of swarm diversity and c) self-adaptive treatment of the involved parameters based on a multi-agent philosophy.

The design of two classical benchmark problems allowed comparisons among the results herein obtained and those obtained by other authors. The obtained solutions are among the best known results but required a significantly lower number of iterations. Then, other real world problems were also addressed. From a hydraulic point of view, the improvement must be directly associated to a recent formulation (Martínez, 2007) based on an economical evaluation of the design. This formulation makes it possible to embody higher reliability into the system even under certain failure conditions. Interestingly, the system improvement in terms of reliability implies only moderate increase regarding the initial investment costs. On the other hand, the multi-agent approach that permeates the optimization algorithm constitutes an open-door environment for multi-objective formulations regarding the design of WDS. The optimization mechanism together with EPANET2 engine for hydraulic analysis have been implemented in a computer application intended to provide professionals in the WDS field with a powerful tool ready to be used in real world projects.

Valenciano –Optativo– (máximo 2000 palabras)

Disseny òptim de sistemes de distribució d'aigua mitjançant Particle Swarm Optimization

Les grans inversions necessàries per la construcció i manteniment de les xarxes d'abastiment d'aigua, que han de ser viables i eficients, fan que es preste una atenció especial al disseny d'aquest tipus de xarxes. Un dels grans reptes a què s'han enfrontat els homes i les dones que s'han dedicat al tema és crear solucions econòmicament optimitzades que puguin garantir, a més, un funcionament adequat dels sistemes de distribució d'aigua (SDA), tenint en compte la fiabilitat de la xarxa per a oferir servei, fins i tot, en condicions de fallada. És important obtenir, amb un cost mínim, els màxims beneficis possibles.

La funció objectiu a utilitzar variarà segons el problema que s'aborde: ampliació, rehabilitació, nou disseny o operació. Actualment no es pot dir que existeix una única funció objectiu, ni que les que existeixen siguin definitivament les més convenients, fins i tot, per a abordar el mateix problema. Això fa que siga útil utilitzar tècniques d'optimització que es puguin adaptar directament a qualsevol funció objectiu.

Durant els últims 10 anys, diversos investigadors s'han desviat de les tècniques tradicionals d'optimització, fonamentades en la programació lineal i no lineal, i s'han dirigit cap a la implementació d'algoritmes evolutius. En aquesta investigació es proposen solucions per al disseny òptim de SDA, fonamentades en la utilització d'un algoritme evolutiu anomenat Particle Swarm Optimization (SPO).

L'algoritme PSO, desenvolupat per Kennedy i Eberhart l'any 1995, està inspirat en el comportament social d'un grup d'ocells migratoris que es dirigeixen cap a un punt desconegut. Cadascun dels ocells té una intel·ligència pròpia, però, a més, existeix una comunicació gremial que

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



origina la intel·ligència col·lectiva amb què es mou la bandada. El moviment de cada ocell en l'espai de solucions es calcula tenint en compte el seu historial recent, la seua percepció personal i la influència que rep del líder (l'ocell que ha trobat una millor posició en l'espai). El procés de recerca s'atura quan s'arriba a alguna condició de terminació. El moviment es du a terme en un espai multidimensional, amb tantes dimensions com variables tinga el problema. El vector de posició d'un ocell en l'esmentat espai representa una solució potencial.

Aquest treball que es presenta transforma l'algoritme original PSO perquè puga aplicar-se al disseny òptim de SDA, alhora que s'introdueixen diverses millores que poden ser aplicades igualment a problemes d'una natura diferent a la que es tracta en aquesta investigació. Aquestes transformacions es fonamenten, sobretot, en: a) la possibilitat de treballar amb variables contínues i discretes, b) el manteniment de la diversitat de la població de solucions amb què treballa l'algoritme i c) el tractament dels paràmetres involucrats, fonamentat en una filosofia multiagent.

El disseny de dos exemples clàssics de benchmarking va permetre comparar els resultats amb resultats anteriors trobats per altres autors. Es va comprovar que, efectivament, l'algoritme, amb la introducció de les citades modificacions, té un funcionament excel·lent. Posteriorment, es varen resoldre uns altres casos que corresponien a situacions reals de disseny. Des del punt de vista hidràulic, les solucions es milloren a partir d'una formulació publicada recentment (Martínez, 2007) per a l'avaluació econòmica dels resultats de disseny. En aquest treball es manifesta com aquestes millores possibiliten l'obtenció de solucions que presenten major fiabilitat en el funcionament enfront de possibles condicions de fallada. En els exemples que s'han abordat en aquest treball, les millores en la fiabilitat no varen implicar un augment excessiu dels costos d'inversió inicial. D'altra banda, la perspectiva multi-agent que s'ha donat a l'algoritme d'optimització deixa les portes obertes cap a formulacions multi-objetiu del problema de disseny dels SDA. El mecanisme de càlcul de la proposta de PSO, juntament amb el motor de EPANET2 per a l'anàlisi hidràulic de solucions, ha estat suportat per la implementació informàtica que fa que la investigació que ací es presenta, en la seua utilització pràctica, siga útil per als professionals que es dediquen al tema.

**Palabras clave
(máximo 5):**

*diseño / optimización / sistemas de distribución de agua /
Particle Swarm Optimization /*

Fecha: 4 de noviembre de 2008

El Alumno/a

Fdo:Ing. Idel montalvo Arango

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER