

Artificial Intelligence for Integrated Water Resources Management in Taiwan

Fi-John Chang

Department of Bio-Environmental Systems Engineering, National Taiwan University, Taipei
Email: changfj@ntu.edu.tw

Received: Sep. 6th, 2013; revised: Oct. 22nd, 2013; accepted: Oct. 28th, 2013

Abstract: Artificial intelligence (AI) is a state-of-the-art technology and has nowadays become highly popular in scientific and technological fields. AI possesses great capability in handling mass information and formulating intelligent algorithms with human-like logical inference through learning messages and storing knowledge from input information. AI has been applied with great success to water resources management in Taiwan. This study aims to systematically present the development and achievements of AI techniques on integrated water sources management and hydro-informatics with respect to diversified domains including hydrology, engineering, environment, eco-hydrology and hydro-meteorology in Taiwan. The continual integration of AI techniques (neural networks, fuzzy inference, genetic algorithms) with domain-driven technologies from hydrological, water resources, eco-environmental and informatics engineering fields will be our future mission, which is dedicated to the development of advanced intelligent techniques on hydro-related systems/platforms. The creation of a new era on water resources management and sustainable eco-environment with AI is an everlasting goal for us all to pursue.

Keywords: Artificial Intelligence (AI); Artificial Neural Networks (ANNs); Fuzzy Theory; Genetic Algorithms (GA); Integrated Water Resources Management (IWRM)

台湾地区智能型水资源综合经营管理

张斐章

台湾大学生物环境系统工程学系, 台北
Email: changfj@ntu.edu.tw

收稿日期: 2013年9月6日; 修回日期: 2013年10月22日; 录用日期: 2013年10月28日

摘要: 人工智能俨然为现今热门科技研究项目及发展迅速的应用技术, 能处理大量的水文信息, 具有从输入的环境讯息中获取并累积经验、储存知识, 进而能像人具有智慧的作出判断及推论的智能型演算程序。将人工智能应用于水资源经营管理, 在台湾地区有许多成功的案例, 本文旨在介绍吾等以人工智能相关理论于解决台湾地区各式水资源经营管理议题及开发水文信息系统的案例与经验。期望未来能有更多的同好参与持续整合水文水资源、生态环境及资讯工程等领域之科技, 并开发更先进好用的人工智能相关理论技术于水文水资源系统, 维护永续发展之生态环境, 创造人工智能用于水资源经营管理的新世纪。

关键词: 人工智能; 类神经网络; 模糊理论; 遗传算法; 水资源经营管理

作者简介: 张斐章(1957-), 台湾大学特聘教授, 台湾水文信息学会的创始会长, *Journal of Hydrology* 副主编。长期致力于水资源管理、水文环境、防灾预警以及人工智能等学科的研究, 迄今已发表 160 余篇学术论文, 其中 70 余篇为 SCI 期刊论文, 且论文被引用次数近 2000 次。曾荣获台湾杰出研究奖、水利事业贡献奖等 14 项奖项。

1. 引言

从人类文明史以来,各种大型或小型水资源建设计划不断地持续进行中,近年来大型水资源建设因环境议题已在世界各国逐渐退潮。在全球暖化与气候变迁的问题下,工商业发达以及用水习惯改变,全球用水量每20年增加一倍,造成水资源短缺,另一方面,近年来世界各地暴雨洪水频犯;水资源经营管理与永续发展议题已成为全球最重要议题之一。水资源系统在许多方面需要计算机模式工具的协助,快速提供合宜理的管理与经营决策信息;仰赖计算机科技多元化与全球化的发展,高速计算的能力让过去遥不可及的复杂计算之理论模式得以实现;结合因特网、通讯网路、视讯的发展,打破时间与空间限制,发展多样的静动态展示方式;因此,发展水文信息系统已成为二十一世纪水文社群资源共享与交换之重要平台。

世界银行于2005年在Natural Disaster Hotspots, A Global Risk Analysis 报告中指出,台湾同时暴露于三项天然灾害:台风、洪水、地震,且单位土地面积之人口比例高居世界第一;台湾地区年均降雨量高达2500 mm,却在自然条件的限制、降雨时空分布不均,造成河川流量丰枯极为悬殊、具高度不确定性,饱受涝旱之苦,难以有效运用丰沛的水资源。台湾地区在特殊的地理环境与水文条件下,要满足2400万人用水需求、工业发展、农业永续、生态环境保育,水资源经营管理至为关键且具极高的挑战性,发展智能型水文信息系统可强化水资源管理、使水资源分配科学化、管理合理化,是为新世纪水资源经营管理发展之重要一环。

人工智能是以计算机科学、生物系统、数学等为基础之科学,将人类智能加以计算机化,使计算机具有思考、学习及解决问题能力;智能水文信息系统即将人工智能理论应用于水资源经营管理及水文信息系统中。近年来,水文模式与预测方法呈指数增长,以人工智能理论开发复杂的水文模式特别受欢迎,引领水文研究之新方向,如类神经网络、模糊理论、遗传算法、优化理论等;人工智能可处理大量数据、获取数据中的经验与知识、挖掘水文数据,发展实用的模式来描述真实水文过程。

台湾地区已有许多将人工智能应用于水资源经营管理的成功案例,例如在水文预测方面发展智能型

水文防洪预报系统,可实时连结并撷取气象单位及水利单位的数据库,实时展示水文信息,并能预测未来多时刻的水位(或流量)变化,对提升台洪预警的精确度及功能上有所帮助;在水文决策分析方面,将遗传算法方面运用于智能型水库操作系统,可针对台洪时期搜寻水库泄放水量最佳操作历程,亦能搜寻出符合历年操作之水库最佳运转规线;在生态复育方面,生态水文管理系统藉由管理河川流态以促进河川生态复育之效益;在水源污染方面,探讨侵蚀与沉淀物传输对水源污染之影响、分析河川生态系统中污染物之传输与优养化对水生生物之影响,深入了解河川流域发展,提出永续河川经营策略。本文旨在介绍吾等以人工智能相关理论于解决台湾地区各式水资源经营管理议题及开发水文信息系统的案例与经验。

2. 人工智能相关理论

人工智能相关理论,如类神经网络、模糊理论、遗传算法等,发展出相关的算法及开发软件程序,解决各式水文水资源议题。其中,类神经网络常应用于水文量预测,针对水文量之变化进行推估,仅需对系统之输出目标与相关输入因子做概略剖析,解决了传统水文预测模式中参数不易设定、强加套配、模式不易扩张且型态固定等缺点;模糊理论常应用于水文决策分析,一般实务上常面临目标不明确、限制条件不易界定的规划方案,因此加入模糊性参数与人性决策之模糊量化指标可较合宜贴切的仿真真实水文系统;遗传算法是基于大自然物竞天择的理念,结合了自然的模拟、数学分析与计算机技术的一种搜寻程序,可成功有效地解决水资源系统中参数优选或控制方面的难题。针对常见的人工智能相关理论简述如下。

2.1. 类神经网络

类神经网络(Artificial Neural Networks, ANNs)或译为人工神经网络,其主要的概念是尝试着模仿人类的神经系统,因为人类的神经系统在语音、听觉、影像和视觉方面均有很完美的表现,所以也期望这些模型能够在这些方面有出色的成果。类神经网络的架构源自于现今对人类神经系统的认识,它是由很多非线性的运算单元和位于这些运算单元间的众多连结所组成,而这些运算单元通常是以平行且分散的方式

来进行运算，如此就可以同时处理大量的数据应用，如：语音、手写辨识等。呈现的方法是以计算机的软硬件来仿真生物神经网络的信息处理系统，利用非线性函数的转换，有效地对大量数据进行分析，且具学习能力，以利各种非结构性决策的制定；此外，类神经网络之应用不需前提假设，只要有充足的历史数据，即可进行分析，例如有长期完整之雨量或河川流量(水位)信息，或众多的气象数据，皆十分适合运用网络模式进行分析、预测的工作。

一般类神经网络为三层结构(图 1)，包含输入层、隐藏层及输出层。其中输入层用以表现输入变量，其单元数目依问题的型式而定；隐藏层可有数层，用以表现输入处理单元间之交互影响，其单元数目需以试验的方式决定其最佳数目，一般水文系统仅需一层即可有良好的表现；输出层用以表现输出变量。神经网络的基本原理为网络中靠相关权重连结各层间之单元，各输入单元输入值经由加权累加后到达隐藏层，并透过转换函数可得一值，同理再传至输出层^[1]。

2.2. 模糊理论

模糊理论是 1965 年由 Zadeh 在【Information and Control】杂志上所发表，其对于多元复杂之模糊现象，给予较为稳健之描述，盼能藉此解决现实环境中不确定性(uncertainty)与模糊性(fuzziness)数据无法适当描述的问题。不论是学术界在理论上的研究发展，或是工业界在实务上的产品应用以及工厂操作流程的使用等等，模糊理论皆有许多的研究成果与成功的实务应用，例如：日本即充分地将模糊(Fuzzy)理论结合自动控制应用于许多家电产品，像是 Fuzzy 洗衣机、Fuzzy 冷气机等。模糊理论的发展，目前已成为人工

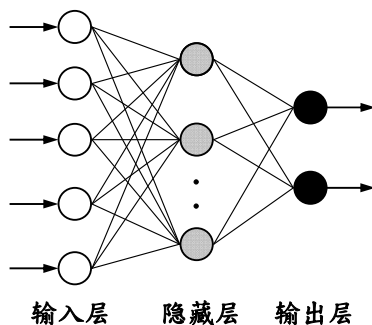


Figure 1. Structure diagram of artificial neural networks
图 1. 类神经网络架构图

智能系统中一个非常重要的工具。它强调许多事实的结果无法符合传统的二元逻辑，并非在“是”与“非”之间选择其一，而是介于是与非之间。因此，在处理实际问题时，主要是将普通集合“非此即彼”的绝对隶属关系加以扩充，即对集合的属性不再以传统集合之二分法来决定绝对性的真或伪，而是利用隶属函数(Membership Function)的观念，以具有某种程度的真实性来描述该集合之属性，进而实现定量刻画不确定性问题之模糊性质，因此对于叙述不清或状况模糊之问题，提供了一个较合理可行的解决方式；在科学与学术的研究上，使用模糊理论则可处理人类的知识与逻辑推论过程中，语意或分析的描述性语言，解决传统集合或理论所无法描述的现象与问题^[1]。

模糊推论系统(Fuzzy Inference System, FIS)的理论源自于模糊集合理论、模糊 IF-THEN 规则以及模糊推论等理论基础，主要架构包括：模糊化(fuzzifier)、模糊规则库(fuzzy rules)、隶属函数(membership function)数据库、推论引擎(inference engine)与解模糊化(defuzzifier)等五大部分(图 2)，经由建立模糊规则库后，模糊推论系统即可建构输入值与输出值间的映射关系(mapping)，此种关系亦可表示如 $y = f(x)$ 的关系式。此模式在工程的应用上也相当广泛，如：模糊逻辑控制器(fuzzy logic controller)、讯号处理器以及模糊控制器或模糊系统等。

2.3. 遗传算法

遗传算法(Genetic Algorithms, GA)系由 John Holland 于 1975 年首度发表，经过多年的发展，被证实为具有强健效能的搜寻方法，其观念源自于达尔文“物竞天择，适者生存”的进化观点，模仿自然界利用基因遗传的演化过程，以编码的方式来表示参数，经由复制、交配(or 交换)与突变来寻找最适应环境的生存个体。

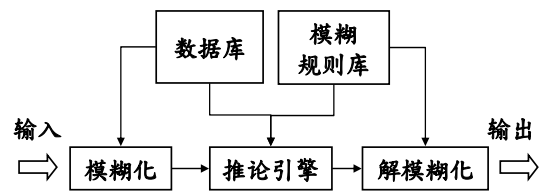


Figure 2. Structure diagram of Fuzzy Inference System
图 2. 模糊推论系统架构图

依照达尔文的学说，生物族群在遗传演化的过程都要面对生存竞争与自然淘汰的压力，生物的可变特性就是个体之间具有不同的适应力，若个体之间为了有限的环境资源(食物、配偶、生存空间)而发生竞争，则适应力较强的个体必会为自然界所选择而继续存活，并繁衍后代，其余则遭淘汰的命运。故生物在繁衍后代时，良好的基因会由母代复制给子代，并透过染色体的交换与突变这两项变异特性，提供生物在世代相传的过程中，产生新型态来适应环境变迁的机制，以保持物种的延续。

遗传算法就是根据此种演化法则，应用于最佳解的搜寻工作上。将各参数视为生物的基因(gene)，透过编码过程组合为染色体(chromosome)个体，每个染色体也就是一组解答，演算初始以随机方式产生第一代(generation)，以适合度(fitness)来表现每组解的优劣程度，表现不佳的将逐代被淘汰，而表现优良的则产生更好的后代，子代产生的过程包括亲代染色体的复制(reproduction)、交换(crossover)及突变(mutation)等，经过数代之后，存活的群集便是具有最佳的适应力。

而欲以遗传算法作为最佳化问题之搜寻法则，大致须具备以下项目：

1) 基因编码：将问题中参数编码成一有限长度之字符串或化为向量，形成人工染色体。编码方式一般有二位编码、灰色编码、实数编码等。

2) 评估：通常先以随机方式产生初始解集合，再以适合度值评估试验解优劣，适合度函数之订定乃是由最佳化问题之目标函数转换而得，以模拟自然界生物对环境之适应性。

3) 遗传操作数：繁衍子代时用来调整染色体结构之遗传操作数：复制(reproduction)、交换(crossover)与突变(mutation)。复制是根据适合度值复制单一染色体至下一子代，选择方式由自然优选法加以淘汰选择。亦可结合精英策略将各代最优秀之亲代无条件复制至下一代。

基因交换是一种繁殖技术，首先自筛选过之基因池中选取二染色体作为亲代，之后采取一点或多点式分割染色体，使亲代的二个染色体互换部分基因，而产生两个新的子代染色体。突变则用在搜寻空间上发现新的点，即在染色体中以极小机率选取一或数个基

因，改变原基因值，除可引进新的基因样式，亦可开发新的搜寻区域，避免搜寻过早收敛于局部最佳解。图3为遗传算法之演算流程图。

3. 实际应用案例

将人工智能应用于水资源经营管理，在台湾地区已有许多成功的应用案例。以水文、水资源、生态环境科学为基础，结合卫星、雷达影像、水文站等信息，利用人工智能相关理论发展出相关的算法^[1]及开发软件程序，以解决各式水文水资源议题，并研讨适合解决台湾水土资源问题之新颖方法。无论是应用于水文预测方面(如：集水区雨量推估及河川流量预测^[2-7]、蒸发量推估^[8,9])、水资源管理方面(如：智能型水库操作系统^[10-13]、智能型抽水站^[14])、水文生态方面(如：生态水文解析^[15,16]、有毒物质浓度推估^[17,18])及影像辨识方面(如：河床粒径分析^[19,20])，均获得诸多宝贵的研究成果与心得。以下分别叙述吾等在台湾地区重要的研究成果案例。

3.1. 集水区雨量推估及河川流量预测

由于台湾的河川坡陡流急，地质脆弱，台洪时期河川断面及流量在很短时间(几小时)就可有巨大变化，系十分复杂且变化多端的动态非线性时间序列，早期运用实时回馈学习之类神经网络于多时刻流量预测^[6]，有不错的成效；惟多时刻之流量预测仍存在预测流量值震荡、误差大与预测值时间稽延(Time lag)

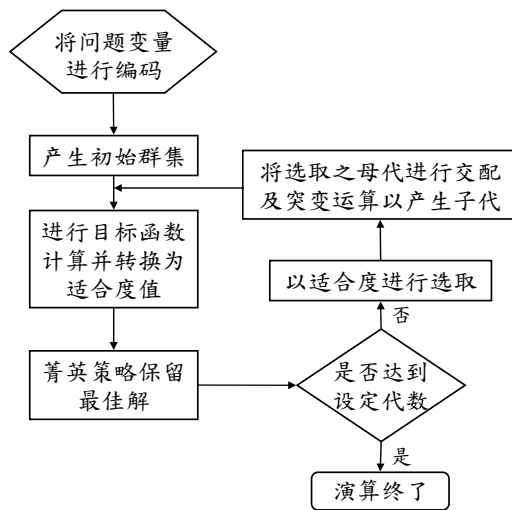


Figure 3. Flow chart of genetic algorithms
图3. 遗传算法之演算流程图

的问题，为解决此等问题，乃推导新的学习算法于回馈学习之类神经网络。我们提出最新信息强化学习机制、推导修正公式、验证新模式，有效地减缓时间序列之预测误差与预测值之震荡，亦减少预测之时间稽延，对洪峰流量的推估更精准。2013年我们又进一步扩展了上述提及之学习策略，将预测二时刻之学习算法推展至多时刻算法^[4]，以因应河川洪水预报需要预测较长时距之需求，此研究案例持续了类神经网络学习算法之研究，并考虑在水文推估、洪水预报之应用时延伸模式发展，可应用于各种时间序列之多时刻预测，如农业灾损、降雨预测、河川洪水预测、地下水水位预测等，对水资源管理及防洪运作极具效益。本研究案例有效提升水文预测的精确度，在类神经网络的学习机制与策略上获得理论的突破与证明，对于多时刻之时间序列预测问题，具有减缓预测误差与时间稽延现象的实质功效，在实务上具有实用价值。

3.2. 蒸发量推估

蒸发现象为影响水文循环重要之因素，于农业灌溉、集水区经营管理与规划、环境及气象科学，均为相当重要的参考资料。蒸发量一般系藉由气象因子以传统经验式推估，惟其参数值往往具区域性特质，不易设定且难以藉由监测而得，经验式亦忽略蒸发在自然界中呈高度非线性现象，因而影响推估之精确性。我们以先进的人工智能探勘水文气象信息之关联，快速有效地推估区域蒸发量，建立具智能及高效能的智能型蒸发量推估模式^[8,9]，透过数据挖掘(Data mining)技术探究各水文气象因子与蒸发量之间的关系，展现蒸发量在不同时间与空间之变化，使用气象及地文因子(如风速、温度、日照、高程、离海距离等)建构全台湾的类神经网络蒸发量推估模式，推估各地区之蒸发量，对台湾农业及水资源管理有进一步贡献。

3.3. 智能型水库操作系统

传统水库操作系以搜集历史流量数据，透过系统分析方法寻求水库最佳操作策略(规线制定)并随着观测数据的增加而予以逐步校正。但因规线的范围大无法进行精确操作，且未考虑入流量预测与极端事件之影响，往往限制了水库的防洪与救旱机能，且水库长期操作历程是一个多变量的复杂优选问题，传统优选

模式难以获致最佳解。面对台湾地区水资源时空分布不均及日益不足等问题，如何在安全条件下进行水库操作使其尽可能满足各使用标的并维持环境永续性是当前首要课题。实际研究案例中以新颖的人工智能相关理论，结合现行规线操作的专家知识提出智能型水库操作策略^[10]，以历史之水文状况为例，进行实务仿真测试，利用遗传算法寻求历史流量之水库最佳放水量历程，以兹作为调适性网络模糊推论系统(ANFIS)之训练样本与标的，从而获得智能型水库实时操作之推论模式。为增加系统操作规则库之完整性与合法性，乃研议水库操作规线与模糊规则库之间的转换方式与机制，将操作规线所代表之蓄放标准转换为规则(if-then)形式，建构出模糊规则知识库，成功地将水库传统的操作策略与智能型操作模式进行结合，藉由加入传统操作方式的专家知识使系统更具智能地处理数据与判断信息，进而有效地控制水库水位与其放流量，提供水库管理单位于蓄水利用运转时有所参考及依据。

2011年我们又进一步提出了多阶层交互遗传算法(multi-tier interactive genetic algorithms)^[13]，将一个复杂系统分解成多个不同阶层的子系统，并建立相同与不同阶层子系统间相互连结，以关键讯息在彼此间传递，又子系统可各自采用遗传算法进行搜寻，将此一算法运用于优选水库长期供水之最佳操作历程。比较本模式与现行操作仿真及传统遗传算法搜寻之效能，结果显示我们发展的模式在搜寻大量变量(数百到数千)的水库长期最佳化问题时，效能大幅优于两个传统方法并节省更多搜寻时间，成功地解决传统非线性算法难以克服搜寻大量变量的最佳化问题，成效极佳。

3.4. 智能型抽水站

台湾地区每年夏、秋两季暴雨或台风来袭时，市区排水于河川外水位到达一定高程后即无法顺利地由重力自然宣泄，故抽水站即扮演市区排水系统最下游将内水排放至河川的重责大任，故提升抽水站规划设计标准及进行抽水站最佳排水操作乃市区排水效能的关键所在。

防洪抽水站操作若能有一可靠之模式用以准确预测未来时刻之抽水操作，将可提供抽水站操作人员

实时且具实用性的信息。目前台湾地区抽水站之操作虽已有相关操作规则，但订定操作规则时存在大量的不确定性及各工程变量等因素，以致操作规则于实际操作时难以达至较有效率的抽水操作，而必需依赖操作人员视实际降雨状况加以调整抽水机组启闭。为解决使用传统抽水站操作规则准确设定不易、型态固定且需现场人为经验弹性判断的缺点，我们发展出一模糊类神经网络应用于防洪抽水站抽水机组操作^[14]，以有效提供操作者进行现场正确而有效率的操作建议。

实际案例研究以历史台洪暴雨事件之水文资料及抽水站闸门、抽水机组操作效率较佳的操作记录，透过人类经验法则的学习及判断方式，利用类神经网络的学习阶段将各种不同类型的降雨及抽水机操作信息分别记录成不同的规则单元，架构出以规则库为基础的类神经网络。在网络输出方面则应用模糊控制的方法，将输入值与网络训练所得的规则库比较，依不同的相似程度予以量化，并以模糊权重的方式求得网络输出值。本网络具有学习能力佳、易于扩充及分类效果强的优点，会随着历史数据的增加自动地增加规则数，增加推估的能力。

3.5. 生态水文解析

随着人口成长、土地利用需求快速增加，人类撷取自然环境资源已远超过自然界自行修复的速率，导致生态系结构逐渐恶化及生态物种歧异度降低，进而减少环境原本能提供的物质与服务。近年来由于生态环境复育意识的提升，人们在追求物质的满足之余，渐渐开始重视人类与生态环境的共存关系。河川流量管理即为一兼顾人类使用需求及河川生态系统需求之理念，以人工智能技术-数据挖掘(data mining)探究河川流态与生态系统(两种异质数据库)之交互关系，了解流态对溪流鱼类的影响，期有助于水资源永续经营及溪流生态保育^[16]。

我们以多年之研究为基础，藉由建立台湾生态水文指标与生物多样性间之连结，首度发展以考虑河川生物多样性指针，结合自组特征映像网络(SOM)与辐状基底函数(RBF)类神经网络，发展出自组特征辐状基底类神经网络(SORBNN)^[15]，成功建立以河川流态为输入因子，推估生物多样性的可行模式，属先驱之研究。实际研究案例选取全台湾河川中未受人为控

制、流量数据长度大于二十年且其上下游 10 公里内有鱼类调查数据之流量站作为研究测站，结果显示模式除了具有对流量数据进行型态判别分类的能力外，也能有效率且准确推估生物多样性，对水文系统如何影响生态环境有更进一步了解与掌握，并获得兼顾人类用水及河川生态多目标水资源管理的可行方案，具高度参考及应用价值。

3.6. 有毒物质砷浓度推估

人工智能鲜少案例应用于地下水水质推估，而地下水水质具有污染不易察觉、变异性大、影响因子不确定、易受到周边水域环境影响及数据取得不易等特性，一般传统模式难以推估，另一方面，砷物质存在于地层中，已被证实是造成乌脚病主要原因，对人体健康危害相当严重，实有必要建立可靠地下水中砷浓度推估模式，掌握地下水中砷污染情形。

实际研究案例以地下水受严重砷污染之台湾西部云林县沿海地区为研究区域，应用类神经网络建立地下水砷浓度推估模式^[17,18]，以解决高度非线性砷污染传输问题、提高砷浓度推估之准确性。模式分为单一水井模式及区域模式，整体而言，以单一水井模式推估结果较佳，但区域模式则应用范围较广，具有展现区域地下水砷浓度特性。研究中除探讨输入因子及网络架构对模式误差之影响外，并针对地下水水质模式较易遭遇到数据过少问题，提出交叉验证法及修正型目标函数加以改善模式推估误差，本研究成功解决过去传统模式不易推估区域地下水中砷污染问题。研究案例亦将模式推估结果结合地理信息系统(GIS)，绘出地下水中砷污染潜势图，展现本研究区域内砷浓度在时间与空间变化，提供政府单位与相关研究者了解地下水中砷变化情形及传输机制，有效减少居民饮用高砷地下水之风险，达到有效管理及利用地下水之目的。

3.7. 河床粒径分析

河川整治、河川管理极需河床质粒径分布信息，但砾石受到地形与地质影响，以及水流冲蚀、磨耗、风化等作用，分布极不规则且不均匀，如何快速获得准确的河床粒径分布是水利工作者的重要工作。近些年来照相与影像处理技术进步迅速，在辨识与量测方

面皆有良好的成果，我们以人工智能与影像处理技术为基础，快速分析以掌握河床上下游的粒径分布，大幅降低現地调查时间并避免人力资源的浪费。我们发展一套影像处理方法，透过类神经网络模仿生物视觉神经之脉冲输出，藉由已知石头的形状、尺寸等对其作规则计算所得之标志，快速且精准的推估河床粒径^[19,20]。影像处理技术发展快速，但用于辨识大区域不规则、不均质的河床砂砾仍属不易，极具挑战，本研究透过自动影像辨识技术，分析河床粒径尺寸以获得粒径分布，提供河川水利、生态保育研究工作者稳定且快速的信息，极具实用价值。

4. 结语

人工智能俨然为现今热门科技研究项目及发展迅速的应用技术，以计算机科学、生物学、语言学、数学、工程学为基础的科学，将人类智能加以计算机化，使计算机具有思考、学习及解决问题的能力。随着时代演进，专家及经理人对新科技及新工具之需求日益升高，人工智能对于水资源经营管理极具效益，有助于以更宏观及有效的分析挖掘数据库，进一步了解掌握复杂的水文系统，进而提升水资源管理效能。

面对台湾水资源时空分布不均与日益不足问题，生态保育意识的提升，如何做好水资源永续经营管理，善用水资源、维持溪流生态与环境永续性是首要课题。由台湾地区实际研究案例显示，人工智能应用于降雨、河川洪水、抽水站水位、地下水位等水文时间系列多时刻实时预测、推估区域蒸发量、推估有毒物质砷浓度、寻求水库长短期最佳操作策略、挖掘河川流态与生态系统(两种异类数据库)之交互关系及河床质粒径分布影像辨识，均可良好的成效与合宜性，期望未来能有更多的同好参与，持续开发整合水文水资源、生态环境及资讯工程等领域之科技与数据，并应用类神经网络、模糊推论、遗传算法等相关人工智能理论，掌握复杂的水文系统动态变化，建构合宜推论模式以维护永续发展之水资源环境，创造人工智能应用于水议题的新世纪。

参考文献 (References)

[1] 张斐章, 张丽秋. 类神经网络导论——原理与应用[M]. 台中: 沧海书局, 2010.

- Chang, F.J., Chang, L.C. Introduction to artificial neural networks-theory and application. Taichung: Tsang Hai Book Publishing Co., 2010. (in Chinese)
- [2] CHANG, L.C., CHEN, P.A. and CHANG, F.J. A reinforced two-step-ahead weight adjustment technique for on-line training of recurrent neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2012, 23(8): 1269-1278.
- [3] CHANG, F. J., CHANG, Y.T. Adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of water level in reservoir. *Advanced in Water Resources*, 2006, 29: 1-10.
- [4] CHEN, P.A., CHANG, L.C. and CHANG, F.J. Reinforced recurrent neural networks for multi-step-ahead flood forecasts. *Journal of Hydrology*, 2013, 497: 71-79.
- [5] CHEN, Y.H., CHANG, F.J. Evolutionary artificial neural networks for hydrological systems forecasting. *Journal of Hydrology*, 2009, 367: 125-137.
- [6] CHIANG, Y.M., CHANG, L.C., TSAI, M.J., WANG, Y.F. and CHANG, F.J. Dynamic neural networks for real-time water level predictions of sewerage systems-covering gauged and ungauged sites. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2010, 14: 1309-1319.
- [7] TSAI, M.J., ABRAHART, R.J., MOUNT, N.J., et al. Including spatial distribution in a data-driven rainfall-runoff model to improve reservoir inflow forecasting in Taiwan. *Hydrological Processes*, 2012, DOI: 10.1002/hyp.955.
- [8] CHANG, F.J., SUN, W. and CHUNG, C.H. Dynamic factor analysis and artificial neural network for estimating pan evaporations at multiple stations in northern Taiwan. *Hydrological Sciences Journal*, 2013, 58(4): 813-825.
- [9] CHUNG, C.H., CHIANG, Y.M. and CHANG, F.J. A spatial neural fuzzy network for estimating pan evaporation at ungauged sites. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16: 255-266.
- [10] CHANG, L.C., CHANG, F.J. Intelligent control for modeling of real time reservoir operation. *Hydrological Processes*, 2001, 15 (9): 1621-1634.
- [11] CHANG, L.C., CHANG, F.J. and HSU, H.C. Real-time reservoir operation for flood control using artificial intelligent techniques. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 2010, 11(11): 887-902.
- [12] CHANG, L.C., CHANG, F.J., WANG, K.W., et al. Constrained genetic algorithms for optimizing multi-use reservoir operation. *Journal of Hydrology*, 2010, 390: 66-74.
- [13] WANG, K.W., CHANG, L.C. and CHANG, F.J. Multi-tier interactive genetic algorithms for the optimization of long-term reservoir operation. *Advances in Water Resources*, 2011, 34(10): 1343-1351.
- [14] CHIANG, Y.M., CHANG, L.C., TSAI, M.J., et al. Auto-control of pumping operations in sewerage systems by rule-based fuzzy neural networks. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, 15: 185-196.
- [15] CHANG, F.J., TSAI, W.B., CHEN, H.K., et al. A Self-organizing radial basis network for estimating riverine fish diversity. *Journal of Hydrology*, 2013, 476: 280-289.
- [16] CHANG, F.J., TSAI, W.-P., WU, W.B., et al. Identifying natural flow regimes using 1 fish communities. *Journal of Hydrology*, 2011, 409: 328-336.
- [17] CHANG, F. J., CHEN, P.A., LIU, C.W., et al. Regional estimation of groundwater Arsenic concentrations through systematical dynamic-neural modeling. *Journal of Hydrology*, 2013, 499: 265-274.
- [18] CHANG, F.J., KAO, L.S., KUO, Y.M., et al. Artificial neural networks for estimating regional arsenic concentrations in a black-foot disease area in Taiwan. *Journal of Hydrology*, 2010, 388: 65-76.
- [19] CHANG, F.J., CHUNG, C.H. Estimation of riverbed grain-size distribution using image-processing techniques. *Journal of Hydrology*, 2012, 440-441: 102-112.
- [20] CHUNG, C.H., CHANG, F.J. A refined automated grain sizing method for estimating river-bed grain size distribution of digital images. *Journal of Hydrology*, 2013, 486: 224-233.