

Desarrollo de Aplicaciones Paralelo/Distribuidas orientadas a la Predicción de Incendios Forestales

Bianchini Germán², Méndez-Garabetti Miguel², Tardivo María Laura², Caymes-Scutari Paola^{1,2}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

²Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información
Facultad Regional Mendoza/Universidad Tecnológica Nacional

Rodríguez 273 (M5502AJE) Mendoza

Tel. +54 261 5244579

gbianchini@frm.utn.edu.ar, miguelmendezgarabetti@gmail.com,
lauratardivo@dc.exa.unrc.edu.ar, pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar

Resumen

La problemática existente a raíz de la falta de exactitud presente en los parámetros de entrada en cualquier modelo científico o físico, puede producir consecuencias dramáticas en la salida del mismo si se trata éste de algún sistema crítico. Además, al citado problema deben sumarse las limitaciones impuestas por los propios modelos, las restricciones que agregan las soluciones numéricas y, por qué no, las provenientes de las propias implementaciones y versiones informáticas. Por tal motivo, resulta de gran interés el desarrollo de métodos y herramientas informáticos que se enfoquen en el tratamiento de la incertidumbre de los valores de entrada para lograr así una predicción lo más confiable posible por parte del modelo en cuestión. En el caso concreto de los incendios forestales, la simulación de la

propagación constituye un desafío desde el punto de vista computacional, dada la complejidad que involucran los modelos, los métodos numéricos y la administración de los recursos. La clase de métodos que aborda nuestra línea de investigación constituye una importante herramienta para la prevención y predicción, dado que provee información acerca del posible comportamiento del fuego y las zonas que corren mayor peligro.

Palabras clave: HPC, Cómputo Paralelo, Incendios Forestales, Reducción de Incertidumbre, Algoritmos Evolutivos, Estadística

Contexto

La presente línea de I+D se enmarca en los siguientes proyectos: Sintonización y Evaluación de Aplicaciones Paralelo/Distribuidas

orientadas a la Predicción y Prevención de Desastres Naturales, financiado por CONICET y FONCyT (ANPCyT); Desarrollo y Sintonización de Aplicaciones Paralelo/Distribuidas orientadas a la Predicción y Prevención de Desastres Naturales, financiado por la UTN. En todos los casos, las actividades se llevan a cabo en el ámbito del LICPaD (Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido) de la UTN-FRM.

Introducción

El uso de modelos para representar sistemas físicos se ha tornado una estrategia común de trabajo en múltiples áreas científicas. Generalmente, estos modelos reciben un conjunto de parámetros de entrada representando condiciones particulares y proveen una salida que refleja la evolución del sistema. Además, es común que dichos modelos se encuentren integrados en herramientas de simulación que normalmente son ejecutadas en computadoras [Cho+08, Dal+08, Iva+03, Lea+06, Mos+05, Ods03, Rif+06]. En general, el tamaño del conjunto de datos y la complejidad de las operaciones sobre dichos datos requieren la utilización de sistemas de gran potencia para resolver el problema en el menor tiempo posible. Esta creciente necesidad de contar con sistemas de alto rendimiento ha orientado a los científicos hacia los sistemas paralelo/distribuidos, cuya utilización se ha propiciado gracias a los avances tecnológicos de los últimos años.

Sin embargo los modelos pueden exhibir ciertas limitaciones relacionadas con la gran cantidad de parámetros de entrada que manejan. Dichos parámetros suelen presentar algún tipo de incertidumbre debido a la imposibilidad de medirlos en tiempo real, y por lo tanto deben ser estimados

a partir de medidas indirectas. Además, en muchos casos, los modelos no pueden ser resueltos analíticamente y deben resolverse aplicando métodos numéricos que sólo son una aproximación de la realidad (aun sin considerar las limitaciones que presenta la traducción de estas soluciones cuando son llevadas a cabo mediante computadoras).

El enfoque más prometedor para solventar este problema es el uso de asimilación de datos en tiempo real combinado con algún método computacional para analizar la desviación de la predicción de acuerdo al comportamiento real, lo cual serviría para determinar los valores de los parámetros que reproducen el comportamiento correcto en el momento actual y usar dichos valores para el siguiente paso de simulación.

Algunos de los métodos existentes para la asimilación de datos para optimizar los parámetros de entrada [Abd04, Bev+01, Man+05, Tho+08], en general, operan sobre un gran número de valores de entrada y, por medio de algún tipo de optimización, se enfocan en la búsqueda de un único conjunto de valores que describa el comportamiento previo de la mejor manera. Por lo tanto, es de esperar que el mismo conjunto de valores pueda ser usado en el futuro inmediato. A los sistemas que aplican este tipo de metodología se los conoce como *Data Driven Methods with Unique Solution* o métodos conducidos por datos con una única solución.

Como trabajo antecedente, se encuentra el framework de optimización BBOF (*Black-Box Optimization Framework*) [Abd+06, Abd+02] el cual afronta el problema de la incertidumbre de datos mediante una estructura que permite la aplicación de diferentes métodos heurísticos: *Genetic Algorithms* [Bäc95], *Taboo Search* [Glo+97] y *Simulated Annealing* [Kir+83]. Tal framework aplica sus

métodos de la misma forma: cálculo intensivo, observación y ajuste de valores.

Sin embargo, a pesar de que esta clase de metodología mejora los resultados que pueden obtenerse mediante la simple simulación, los métodos *Data Driven* aquí comentados adolecen de un mismo problema: encuentran un único conjunto de valores, y, como se mencionó anteriormente, para aquellos parámetros que presentan un comportamiento dinámico, el valor hallado no resulta de utilidad para describir correctamente el futuro inmediato del modelo en cuestión.

Líneas de Investigación y Desarrollo

La línea de I+D que se sigue en el marco de los proyectos mencionados en el apartado **Contexto**, abordan el análisis, diseño y desarrollo de métodos alternativos para tratar con el problema de la Incertidumbre en los Valores de los Parámetros de Entrada de modelos como el de Incendios Forestales. Dichos modelos centran sus bases en conceptos tales como el análisis estadístico, el cómputo paralelo/distribuido y la aplicación de algoritmos evolutivos. Los métodos desarrollados se hallan clasificados dentro de los *Data Driven Methods* (Métodos Conducidos por Datos), pero en una nueva rama denominada *Data Driven Methods with Multiple Overlapped Solution* (Métodos Conducidos por datos con Solución Solapada Múltiple), dado que la solución que aportan no se basa en el resultado de una única solución sino en la conjunción de una multiplicidad de casos estudiados. Su objetivo es hallar un patrón de comportamiento, independientemente de los valores de los parámetros del modelo en cuestión. En estos métodos, cada parámetro es

representado mediante un rango de valores y una cardinalidad. Se generan múltiples escenarios a través de diversas combinaciones de los parámetros de entrada de acuerdo a ciertos rangos, y entonces se evalúa el modelo para cada caso. Los resultados son agregados estadísticamente para determinar la probabilidad general. En el caso particular de los incendios forestales, esta agregación se utiliza para predecir el área quemada en el siguiente paso de simulación.

Resultados y Objetivos

Como resultado de la línea de I+D se desarrollaron dos métodos. El primero, basado en los conceptos de experimentación factorial, análisis estadístico y cómputo paralelo, denominado *S²F²M (Statistical System for Forest Fire Management)* [Bia+05], se centra en hallar un patrón del comportamiento del modelo en el cual se aplica, a través de la generación de los posibles escenarios (combinaciones de valores de parámetros de entrada) y la evaluación del conjunto de resultados para ofrecer una tendencia en el comportamiento del modelo, ajustándolo con la observación actual del mismo.

El segundo, denominado *ESS (Evolutionary Statistical System)* [Bia+12], corresponde a la mejora del método previo a través de la incorporación de algoritmos evolutivos para tratar de forma más eficiente la generación de escenarios adecuada para la etapa de análisis estadístico.

En ambos casos, los resultados de la aplicación de ambos métodos sobre casos de incendios forestales reales, ha ofrecido muy buenos resultados, superando los valores alcanzados con la aplicación de otros métodos equivalentes [Bia+10, Bia+12]

Dentro de los objetivos futuros se tiene el desarrollo de diversas variantes

de ESS con aplicación de paralelismo a distintos niveles, ya que el desarrollo actual aplica el esquema paralelo a nivel de función de evaluación (*fitness function*). Actualmente se está trabajando en un esquema de islas [Tal09] en el cual la población de individuos (posibles escenarios) se vea distribuido en diversas subpoblaciones que se administren y puedan evolucionar de forma paralela.

Finalmente, también se están analizando otras heurísticas que permitan la mejora de los métodos actuales e incluso el desarrollo de otras metodologías que permitan resolver el problema de la incertidumbre en los valores de los parámetros incluso de maneras más eficientes.

Formación de Recursos Humanos

Los proyectos mencionados previamente cuentan con la dirección del Dr. Germán Bianchini y la codirección de la Dra. Paola Caymes Scutari, quienes llevan adelante las tareas relacionadas con la planificación, administración y desarrollo de los mismos, así como también la formación de los alumnos de grado y postgrado que integran el LICPaD. En lo que hace a estudiantes de doctorado del LICPaD, esta línea de investigación cuenta con la participación del Ing. Miguel Méndez Garabetti (cuyo plan de tesis doctoral versa específicamente dentro de esta línea de investigación) y de la Lic. María Laura Tardivo. Ambos cursan el doctorado en Ciencias de la Computación de la Universidad Nacional de San Luis, y a partir de abril del corriente año se incorporarán al programa de becas de CONICET (tipo I), realizando sus tareas doctorales en el marco del LICPaD. Además, se cuenta con la colaboración de tres estudiantes

de grado de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información.

Referencias

- [Abd+06] Abdalhaq B., Bianchini G., Cortés A., Margalef T., Luque E., “Between Classical and Ideal: Enhancing Wild-land Fire Prediction Using Cluster Computing”, *Journal of Cluster Computing Special Issue on cluster computing in science and engineering*. Vol 9, Num 3. pp. 329-343. 2006.
- [Abd04] Abdalhaq B., “A methodology to enhance the Prediction of Forest Fire Propagation”. Ph. D Thesis. Universitat Autònoma de Barcelona (Spain). June 2004.
- [Abd+02] Abdalhaq B., Cortés A., Margalef T., Luque E., “Evolutionary optimization techniques on computational grids”, LNCS 2329. *International Conference on Computational Science 2002*. pp. 513–522. 2002.
- [Bäc95] Bäck T., “Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: Evolution Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Algorithms”, Oxford University. ISBN: 0-19-509971-0. 1995.
- [Bev+01] Beven K. J., Freer J., “Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems”, *Journal of Hydrology* 249. pp.11–49. 2001.
- [Bian+12] Bianchini G., Mendez Garabetti M., Caymes Scutari P., “Evolutionary-Statistical System for Uncertainty Reduction Problems in Wildfires” XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC), Bahía Blanca, Argentina. XII Workshop de Procesamiento Distribuido y Paralelo (WPDP). ISBN: 978-987-1648-34-4, pp.230-238. 2012.

- [Bia+10] Bianchini G., Denham M., Cortés A., Margalef T., Luque E., "Wildland Fire Growth Prediction Method Based on Multiple Overlapping Solution". *Journal of Computational Science (JOCS)* Elsevier. Vol 1 Issue 4, pp.229-237. 2010.
- [Bian+05] Bianchini G., Cortés A., Margalef T., Luque E., "S2F2M – Statistical System for Forest Fire Management". LNCS 3514, pp. 427-434. 2005.
- [Cho+08] Chow T., He W., Chan A., Fong K., Lin Z., Ji J., "Computer modeling and experimental validation of a building-integrated photovoltaic and water heating system". *Applied Thermal Engineering*, Volume 28, Issues 11-12. pp. 1356–1364. 2008.
- [Dal+08] Dalforo C., Mostaccio D., Suppi R., Luque E., "Increasing the scalability and the speedup of a fish school simulator", LNCS 5073 (PART 2), pp. 936–949. 2008.
- [Glo+97] Glover F., Laguna M., "Tabu Search", Kluwer Academic Publishers, Boston. ISBN: 0-79-238187-4. 1997.
- [Iva+03] Ivanovskayaa V., Enjashina A., Sofronova A., Makurina Y., Medvedevab N., Ivanovskii A., "Quantum chemical simulation of the electronic structure and chemical bonding in (6,6), (11,11) and (20,0)-like metal-boron nanotubes". *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*. Volume 625, Issues 1-3. pp. 9–16. 2003.
- [Kir+83] Kirkpatrick S., Gelatt C., Vecchi M., "Optimization by Simulated Annealing" ,*Science*, 220, 4598, 671-680, 1983.
- [Lea+06] Learmount J., Taylor M., Smith G., Morgan C., "A computer model to simulate control of parasitic gastroenteritis in sheep on UK farms". *Veterinary Parasitology*, Volume 142, Issues 3–4. pp. 312-329. 2006.
- [Man+05] Mandel J., Bennethum L. S., Chen M., Coen J. L., Douglas C. C., Franca L. P., Johns C. J., Kim M., Knyazev A. V., Kremens R., Kulkarni V., Qin G., Vodacek A., Wu J., Zhao W., Zornes A., "Towards a Dynamic Data Driven Application System for Wildfire Simulation", LNCS 3515, pp. 632-639. 2005.
- [Mos+05] Mostaccio D., Suppi R., Luque E., "Simulation of Ecologic Systems Using MPI". *PVM/MPI 2005*: pp. 449–456. 2005.
- [Ods03] Odstrcil D., "Modeling 3-D solar wind structure".*Advances in Space Research*, Volume 32, Issue 4. pp. 497–506. 2003.
- [Rif+06] Riffat S., Ma X., Wilson R., "Performance simulation and experimental testing of a novel thermoelectric heat pump system". *Applied Thermal Engineering*, Volume 26, Issues 5-6. pp. 494–501. 2006.
- [Tal09] Talbi, El-Ghazali, "Metaheuristics – From Design to Implementation" ISBN 978-0-470-27858-1. Wiley. 2009.
- [Tho+08] Thorndahl S., Beven K.J., Jensen J.B., Schaarup-Jensen K. "Event based uncertainty assessment in urban drainage modelling, applying the GLUE methodology", *Journal of Hydrology* 357 (3-4), pp. 421–437. 2008.