

Algoritmos Bio-Inspirados en Logística

La mejora en la eficiencia de la logística repercute dramáticamente en la competitividad de las empresas. Sin embargo, los enfoques clásicos a los problemas logísticos presentan una serie de inconvenientes. La computación bio-inspirada supone una aproximación diferente al diseño y optimización de sistemas. El grupo CAS trabaja en el desarrollo de un paquete de herramientas que aprovechen las ventajas de este enfoque en el ámbito de la logística.

El sector logístico en España

En los últimos años el sector logístico en España ha tenido un crecimiento espectacular. Así, entre los años 1993 y 2001 se registró un crecimiento medio anual cercano al 25%, observándose una pequeña ralentización con el 8,4% de 2002 y el 7,2% de 2003. Según la consultora DBK (www.dbk.es) se observa una vuelta al crecimiento y se prevé que al cierre de 2004 se superará nuevamente el crecimiento del 10%. De cara al año siguiente, por su parte, el ritmo de crecimiento podría acentuarse hasta una cifra próxima al 12%. En el año 2003 el mercado alcanzó un valor total de €2.144M, mientras que en el ejercicio anterior esta variable se había situado en €2.000M.

En todo caso, el crecimiento fue posible gracias al buen tono que mantuvo el conjunto de la actividad económica y a la creciente propensión de las empresas a la subcontratación de las operaciones logísticas.

Además, los operadores han continuado realizando un esfuerzo por añadir valor a la cadena de suministro al ofrecer mayor número de servicios y más ajustados a las necesidades específicas de cada cliente, cubriendo desde el aprovisionamiento hasta la distribución, pasando por el almacenaje, la manipulación y la gestión de las plataformas logísticas.

2. La logística como parte de la mejora competitiva

La importancia del sector logístico para la mejora de competitividad lo avalan casos como el del Grupo Inditex (Zara, Pull & Bear...), para el que la logística es parte fundamental de su éxito. Este grupo empresarial ha conseguido, gracias a la tecnología aplicada a la logística, convertir información en tiempo real (moda, tendencias, colores, ventas, stocks...) en productos disponibles al consumidor en cualquier parte del mundo, con unos precios competitivos y en un tiempo record. De hecho sus principales competidores (Gap, H&M) duplican su tiempo de comercialización (*time to market*).

En el ámbito de la Comunidad Valenciana la mejora en la eficiencia de la logística va a incidir positivamente en dos aspectos fundamentales:

- La competitividad de nuestras empresas.
- La reducción del impacto ambiental.

Analizando los principales sectores de la CV (agroalimentario, calzado, cerámica, juguete, mueble, textil, turismo) la mejora en la competitividad viene dada por las siguientes causas:

- Facilitación de la distribución de sus productos a nuevos mercados.
- Reducción de tiempos desde la concepción del producto hasta la puesta a disposición del consumidor, lo que permite adecuarse rápidamente a sus gustos

Los algoritmos bio-inspirados pueden mejorar la eficiencia de la logística.

y anticipar ventas respecto a competidores menos preparados.

- Reducción de las necesidades de almacenamiento, con la consiguiente reducción de costes y mejora en la rotación de productos.

- Automatización y disminución de errores en pedidos/envíos, obteniéndose mejoras en costes de gestión y satisfacción de clientes.

- Optimización del transporte de productos utilizando las rutas y medios o combinación de medios (carretera, marítimo, ferrocarril...) más adecuados teniendo en cuenta coste y tiempo.

- Organización de la producción y distribución teniendo en cuenta la globalización y las posibilidades de la deslocalización de parte de los procesos productivos que las hagan más competitivas.

- Optimización del acceso de la demanda turística a la oferta existente.

- En el sector agroalimentario, posibilidad de ofrecer productos más frescos, de mayor calidad.

En cuanto a la reducción del impacto ambiental se obtiene principalmente por:

- Organización y reducción de costes de la logística inversa (devoluciones de envases, productos, reciclado de materiales...) lo que permite una reducción de residuos y un aprovechamiento de materiales.

- Optimización del transporte intermodal teniendo en cuenta las variables que afectan al medio ambiente y reduciendo su impacto.

El grupo CAS cuenta con una línea de investigación enfocada a la aplicación de nuevas tecnologías (y en concreto los algoritmos bio-inspirados) destinadas a la mejora en la eficiencia de la logística. El punto de partida lo constituyen los inconvenientes de los enfoques clásicos a los problemas que se plantean en este ámbito.

Inconvenientes de los enfoques clásicos

Los problemas con los que nos encontramos en logística son fundamentalmente de dos tipos: de optimización y de diseño. En el primer caso, dado un sistema ya existente se trata de encontrar los parámetros de funcionamiento

Algoritmos Bio-Inspirados en Logística

que permitan aproximarse lo más posible a un objetivo o conjunto de objetivos. En el segundo caso, se trata de diseñar el sistema desde el principio para que se cumplan los objetivos prefijados. Aunque el primer tipo de problemas es el más común, cada vez es más frecuente encontrarse con problemas del segundo tipo.

Los enfoques tradicionales a ambos tipos de problemas presentan una serie de inconvenientes, que listamos a continuación.

Basados en el conocimiento de expertos. Son enfoques “de arriba abajo” (*top down*), es decir, se utiliza la experiencia y habilidad de las personas implicadas para desarrollar reglas y programas para el procesado de los datos del problema. Por tanto, el sistema final está limitado por la experiencia y capacidad del equipo diseñador, así como por la disponibilidad y conocimiento de herramientas y técnicas específicas.

Esto puede suponer un serio inconveniente, por varios motivos. En primer lugar, se asume la existencia de conocimiento previo sobre el problema, pero este no será necesariamente el caso, por ejemplo cuando se trata de un sistema nuevo o recientemente implantado. Por otra parte, puede darse la circunstancia de que



los expertos no coincidan en la forma de abordar una situación particular, con lo que no será posible elaborar una regla para ese caso. Por último, hay que hacer frente al problema de qué hacer en caso de que se produzca el abandono del personal clave. Puesto que la resolución de problemas está basada en la experiencia e intuición del personal involucrado, cuando este personal abandona la empresa el mantenimiento o extensión de los sistemas desarrollados queda seriamente comprometido.

Escalabilidad. Las técnicas tradicionales de investigación operativa han tenido un éxito limitado en grandes problemas reales debido a sus pobres propiedades de escalado (no pueden manejar gran número de variables) y su falta de flexibilidad. Como consecuencia, la mayoría de los problemas “grandes” se abordan o bien manualmente o utilizando reglas simples, produciéndose en ambos casos resultados subóptimos.

Adecuación del problema a la herramienta. Una práctica frecuente es intentar aplicar una técnica que el diseñador ya conoce y domina (como la programación lineal) a cualquier tipo de problema. Esto conduce a la necesidad de adaptar el problema a la herramienta utilizada, en lugar de buscar una herramienta que se adapte al problema. Se requiere entonces realizar un “masaje” de los datos y restricciones del problema para que se adapten a

la herramienta utilizada, y posteriormente realizar la operación inversa para que los resultados sean del tipo que se espera. En el proceso se pierde el contacto con el problema real, y las soluciones dejan de tener un carácter intuitivo para simplemente ser el resultado de operaciones matemáticas, volviéndose así incomprensibles para todo el mundo, a excepción tal vez del diseñador.

Soluciones demasiado académicas. A menudo las soluciones obtenidas por métodos estrictamente matemáticos no tienen un carácter intuitivo y resultan incomprensibles para las personas que las tienen que poner en práctica.

Utilización de modelos simplificados del problema. Las simplificaciones (por ejemplo, suponer linealidad) plantean problemas, ya que resolver el modelo no es lo mismo que resolver el problema. Con un modelo simplificado se puede perder de vista el problema real. Por ejemplo, transportar 10 unidades es muy diferente de transportar 11 si esto último significa que hay que emplear un camión más.

Recientemente se ha producido un gran interés por una aproximación radicalmente diferente al diseño y optimización de sistemas: los algoritmos bio-inspirados.

Algoritmos bio-inspirados

La Computación Bio-Inspirada, que como su propio nombre indica, se inspira en los sistemas naturales, tiene como características únicas el ser auto-adaptativa, auto-organizada y ser capaz de auto-aprender. Debido a su capacidad de resolver problemas complejos que entrañan gran dificultad para los métodos de computación tradicionales, la computación inspirada en la Naturaleza se utiliza actualmente con éxito en muchos campos, tales como la optimización combinatoria, aprendizaje de máquinas y diseño en ingeniería, etc.

Se trata de algoritmos basados en técnicas inspiradas en la biología y la evolución y que utilizan un enfoque “de abajo hacia arriba” (*bottom up*). En ellos una población de soluciones candidatas busca en paralelo el óptimo dentro del espacio de soluciones posibles. La población evoluciona utilizando operadores que imitan principios naturales (tales como competición, reproducción, variación ...) y según leyes probabilísticas.

Entre los algoritmos bio-inspirados podemos citar la **computación evolutiva** y los sistemas basados en **agentes**, tales como la optimización por **nubes de partículas** y las **colonias de hormigas**. La idea clave en la que se basa este proyecto es contar con un paquete de herramientas que incluya todas estas técnicas, de forma que se pueda hacer que compitan entre sí.

1. Computación Evolutiva

Este término abarca técnicas como los Algoritmos Genéticos, la Programación Genética, la Programación Evolutiva y las Estrategias Evolutivas. Todas ellas imitan los principios de la evolución para “criar” soluciones a un problema dado, según el siguiente procedimiento. En primer lugar se genera una población,

Algoritmos Bio-Inspirados en Logística

ya sea aleatoriamente o bien basándose en otras técnicas disponibles, cuyos individuos son soluciones potenciales al problema. Esta población inicial se somete a un proceso de evaluación con el fin de medir la *fitness*, es decir, la capacidad de cada individuo de resolver el problema. Las mejores soluciones son sometidas a cruce y mutación y las peores son eliminadas, simulando el proceso de selección natural. La repetición de este procedimiento conduce en el límite a soluciones óptimas.

Las técnicas de computación evolutiva han demostrado gran eficiencia en la resolución de problemas complejos en muchas áreas, y se han llegado a obtener soluciones mejores que las obtenidas por expertos humanos.

2. Optimización por nubes de partículas

Es una técnica que une conceptos de inteligencia artificial y computación evolutiva. Se basa en los patrones de comportamiento de los animales sociales (enjambres de abejas, bandadas de pájaros, bancos de peces etc.) y en particular en la hipótesis según la cual compartir información entre miembros de una misma especie proporciona una ventaja evolutiva.

En este caso, se inicializa una población de partículas (que determinan soluciones potenciales) asignándose a cada una de ellas una posición en una cuadrícula teórica n -dimensional (siendo n el número de dimensiones del problema), así como una velocidad en cada dimensión. Cada partícula evalúa su *fitness* en función de su posición actual, siendo capaz de "recordar" el mejor valor obtenido y la posición en la que se obtuvo ese valor (tanto para sí misma como para el conjunto de la población). Las velocidades de la partícula se ajustan en cada paso de forma proporcional a la distancia al punto donde se dio el mejor valor global. El comportamiento resultante es el de una nube de partículas que "vuelan" a través del espacio n -dimensional, acelerando hacia soluciones mejores, hasta eventualmente hallar el óptimo buscado.

3. Optimización por colonia de hormigas (ACO)

Esta técnica metaheurística constituye otro enfoque a la resolución de problemas de optimización combinatoria. La idea central en ACO es que un número elevado de agentes artificiales simples son capaces de construir buenas soluciones a problemas de optimización combinatoria difíciles gracias a la utilización de comunicaciones de bajo nivel. Las hormigas reales cooperan en su búsqueda de alimento depositando en el suelo trazas de una sustancia química (feromonas). Una colonia de hormigas artificiales simula este comportamiento. Las hormigas artificiales cooperan mediante la utilización de una memoria común que corresponde a la feromona depositada por las hormigas reales. La feromona artificial se acumula en tiempo de ejecución a través de un mecanismo de aprendizaje. Las hormigas artificiales se implementan como procesadores paralelo cuya misión es construir

soluciones al problema dado utilizando un procedimiento que está movido por una combinación de la feromona artificial, los datos del problema y una función heurística utilizada para evaluar los sucesivos pasos de la construcción. Aunque se trata de una técnica interesante y prometedora, es evidente que la optimización por colonia de hormigas, al igual que otras metaheurísticas, en muchos casos no puede competir con métodos de búsqueda local especializados.

La optimización por colonia de hormigas se ha revelado especialmente útil para la resolución de problemas de enrutado.



4. Ventajas de los algoritmos bio-inspirados

Los algoritmos bio-inspirados presentan una serie de ventajas respecto a metodologías tradicionales:

- Han demostrado ser un buen método de resolución de problemas difíciles, no lineales y que implican muchas variables.
- Proporcionan una alta probabilidad de encontrar un óptimo global, a diferencia de métodos convencionales que pueden quedar atascados en soluciones locales subóptimas.
- Son capaces de funcionar bien en entornos dinámicos, es decir, cuando el problema o sus objetivos son variables en el tiempo.
- Se pueden manejar problemas con cientos o miles de variables.
- Se puede optimizar múltiples criterios simultáneamente (por ejemplo, minimizar costes de transporte y tiempo de entrega).
- Es posible trabajar con distintos tipos de variables: discretas (1, 2, 3) continuas (1,678), difusas ("es probablemente inferior a 10"), descriptivas (azul/rojo), etc.
- Las soluciones producidas son robustas, es decir, no sensibles a perturbaciones en el problema.
- Se pueden obtener soluciones intermedias, quasi-óptimas, sin esperar a que finalice el proceso de optimización.
- Se pueden manejar múltiples restricciones (por ejemplo, maximizar el rendimiento sujeto a un coste menor que 10).
- Las soluciones son comprensibles por el personal no especializado.
- Se pueden incorporar reglas basadas en el conocimiento de los expertos, si este está disponible.

5. Aplicación en Logística

Los problemas en el ámbito logístico que se pueden resolver mediante algoritmos bio-inspirados son de

Algoritmos Bio-Inspirados en Logística

diversa índole. Entre ellos cabe citar la asignación de recursos (personal, maquinaria, vehículos), planificación (mantenimiento, producción), enrutado (transporte, personal, comunicaciones), optimización de cadenas logísticas multimodales, cadenas de abastecimiento y distribución, procesos de fabricación, empaquetado y almacenamiento de materiales, control de inventario, gestión y asesoría de riesgos, modelado predictivo, diseño de redes de transporte y distribución, y almacenes.

De la aplicación de algoritmos bio-inspirados al campo de la logística se puede esperar una serie de beneficios, que se describen a continuación.

Reducción de los costes de operación. A continuación exponemos dos ejemplos reales como muestra del ahorro que se puede obtener en los costes de operación.

Caso 1: Una importante compañía europea de ferries consiguió utilizar menos empleados, asignar los existentes con mayor eficiencia y realizar predicciones de trabajo más fiables mediante la aplicación de computación evolutiva para la asignación de personal. Esto supuso una reducción del 11% en los costes de operación.

Caso 2: Una multinacional líder en productos cosméticos



y de limpieza utilizó un algoritmo de agentes para optimizar su cadena de distribución, consiguiendo así una reducción de costes del 50%, lo que supone un ahorro de 300 millones de dólares anuales.

Maximización del beneficio bajo restricciones.

Caso 3: Un fabricante pretendía realizar una nueva asignación de recursos a centros de coste, con vistas a maximizar el beneficio y racionalizar la empresa. La forma tradicional de hacer esto era utilizando heurísticas y reglas no escritas, según las cuales los gestores sólo se preocupaban de los centros y recursos bajo su control directo. En su lugar, se utilizó un algoritmo evolutivo para obtener una asignación global de los recursos. El objetivo era maximizar el coste pero satisfaciendo al mismo tiempo ciertas restricciones “duras” y “blandas” (límites de recursos, restricciones de personal, factores estacionales, etc). El resultado fue un incremento inmediato del beneficio del 4%. Además, el algoritmo evolutivo podía realizar predicciones, por ejemplo “¿cómo afecta un recorte del 15% en recursos al beneficio en el próximo ciclo?”.

Adaptabilidad. Los algoritmos bio-inspirados pueden utilizar funciones objetivo variables en el tiempo

Caso 4: Una autoridad europea en materia de tráfico encargó el desarrollo de un controlador para semáforos

basado en computación evolutiva. El resultado fue un controlador de calidad equivalente al mejor sistema diseñado manualmente para un entorno estático. Sin embargo la gran ventaja es que el algoritmo evolutivo se puede adaptar a las condiciones variables del tráfico, algo que el sistema convencional era incapaz de hacer.

Encontrar la mejor solución. Los algoritmos evolutivos son útiles para encontrar soluciones globales a problemas de optimización. Esto es más problemático para herramientas de investigación operativa convencionales, que pueden quedar “atascadas” en óptimos locales.

Caso 5: El proceso de recarga de un reactor nuclear normalmente se lleva a cabo una vez al año y el programa se desarrolla por métodos convencionales. En experimentos recientes, un algoritmo evolutivo se inicializó con la mejor solución obtenida manualmente y fue capaz de mejorarla, hasta el punto de que se pudo obtener un ahorro en la recarga de entre el 2 y el 5%.

Disminución del tiempo de escala. Una mayor eficiencia posibilita reducir los tiempos de operación lo que conlleva un incremento en el número de operaciones.

Caso 6: Estudios realizados en un importante puerto europeo han demostrado que la introducción de un algoritmo evolutivo simple puede conseguir grandes incrementos en la productividad de las grúas pórtico, teniendo como consecuencia una reducción del tiempo en puerto de los barcos de transporte de contenedores.

Conclusiones

La actividad logística abarca un gran número de empresas y sectores productivos. Con el fenómeno creciente de deslocalización y desaparición de las industrias tradicionales en la Comunidad Valenciana, la distribución de productos va a adquirir aún mayor importancia frente a la producción. Cualquier mejora que se pueda introducir en este campo tiene el potencial de traducirse en cuantiosos ahorros económicos.

Sin embargo, y a pesar de los beneficios que pueden aportar, los algoritmos bio-inspirados no son de aplicación generalizada en el campo de la logística, por una serie de razones entre las que destacarían:

- El desconocimiento por parte de la industria de las ventajas que les pueden aportar.
- La ausencia de entidades que puedan asumir el coste económico inherente en el desarrollo del software apropiado.
- La carencia de los conocimientos técnicos necesarios por parte de las empresas.

En el Grupo CAS del ITI pretendemos tender un puente entre la investigación teórica y su aplicación práctica y por ello estamos desarrollando de un prototipo demostrador de un paquete de utilidades basado en algoritmos bio-inspirados para aplicación en logística. Este prototipo tiene por objetivo introducir a las empresas en las ventajas de

Autores: Anna Esparcia y Ken Sharman
 Más información: Grupo de Sistemas
 Adaptativos Complejos
<http://www.iti.upv.es/cas/>