



5. Котенко А.П., Букаренко М.Б. Моделирование конечными автоматами систем массового обслуживания с различными каналами / Известия СНЦ РАН, т.16, №4(2). – Самара, Изд-во СНЦ РАН, 2014. – С. 318-321.

А.П. Котенко, Е.А. Шарапова, П.М. Бенгина

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ УРАВНЕНИЙ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Рассматривается задача многокритериальной оптимизации технологического процесса с конфликтующими критериями. При этом связи, вызывающие влияние исходных параметров сырья на целевые характеристики продукции, имеют стохастическую природу. Подобные технологии характерны, например, для нефтепереработки, когда сырьё поступает с разных месторождений и имеет значительный разброс характеристик. Определение выходных параметров продукции может исследоваться статистически, однако идентификация параметров соответствующих регрессионных уравнений не даёт ответа на вопрос: как подобрать управляющие технологические факторы, чтобы гарантировать попадание конфликтующих целевых критериев в заданную стандартами область?

Кроме того, необходимо выбрать среди допустимых параметров такой набор, который обеспечивал бы экономически оптимальные результаты.

Приведём математическую постановку задачи.

Идентифицируем параметры (структурные коэффициенты) системы $AU=BX$ линейных взаимозависимых регрессионных уравнений (структурная форма модели – СФМ), которую представим в виде

$$\begin{cases} y_1 = a_{12}y_2 + a_{13}y_3 + a_{14}y_4 + \dots + a_{1,k-1}y_{k-1} + a_{1k}y_k + b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1n}x_n + \varepsilon_1, \\ y_2 = a_{21}y_1 + a_{23}y_3 + a_{24}y_4 + \dots + a_{2,k-1}y_{k-1} + a_{2k}y_k + b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2n}x_n + \varepsilon_2, \\ y_3 = a_{31}y_1 + a_{32}y_2 + a_{34}y_4 + \dots + a_{3,k-1}y_{k-1} + a_{3k}y_k + b_{31}x_1 + b_{32}x_2 + \dots + b_{3n}x_n + \varepsilon_3, \\ \dots \\ y_k = a_{k1}y_1 + a_{k2}y_2 + a_{k3}y_3 + \dots + a_{k,k-1}y_{k-1} + a_{kk}y_k + b_{k1}x_1 + b_{k2}x_2 + \dots + b_{kn}x_n + \varepsilon_k. \end{cases}$$

Здесь предполагаем, что от исходного (натурального) масштаба показателей совершён переход к стандартизованному масштабу, так что свободные члены регрессионных уравнений отсутствуют.

Как известно, применение метода наименьших квадратов (МНК) к отдельным уравнениям системы СФМ даёт несостоятельные точечные оценки структурных коэффициентов по заданной экспериментальной выборке. Поэтому применим косвенный МНК: по приведённым коэффициентам приведённой формы модели (ПФМ)



$$\begin{cases} y_1 = \delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \dots + \delta_{1n}x_n + \omega_1, \\ y_2 = \delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \dots + \delta_{2n}x_n + \omega_2, \\ \dots \\ y_k = \delta_{k1}x_1 + \delta_{k2}x_2 + \dots + \delta_{kn}x_n + \omega_k. \end{cases}$$

Выборочные приведённые коэффициенты находятся с помощью МНК и при обычных предположениях дают несмещённые эффективные состоятельные точечные оценки соответствующих приведённых коэффициентов генеральной совокупности.

Таким образом, задача сводится к идентификации выборочных структурных коэффициентов по приведённым.

Подставляя идентифицированные приведённые регрессии в структурные уравнения и приравнявая коэффициенты при независимых (экзогенных) переменных, получим систему линейных неоднородных алгебраических уравнений общего вида. Поскольку число уравнений и число неизвестных для каждого уравнения СФМ в общем случае произвольны и могут меняться от одного уравнения к другому, необходимо исследовать все возможные случаи [1]:

- точная идентифицируемость – структурные коэффициенты определяются по приведённым алгебраически однозначно,
- неидентифицируемость – существует бесконечное количество алгебраических решений,
- сверхидентифицируемость – противоречивая алгебраически система имеет единственное наилучшее в смысле МНК решение.

Эвристически наиболее оправданные результаты получаются в случае точной идентифицируемости всех уравнений СФМ. Этого можно добиться специальным подбором нулевых структурных коэффициентов.

Результатом идентификации структурных коэффициентов является система линейных уравнений $AY=BX$, связывающих вектор X управляющих (экзогенных) регрессоров с вектором Y результирующих (эндогенных) параметром продукции.

Тогда оптимальное управление X^* найдём по формуле $X^*=B^{-1}AY^*$, где Y^* – заданный (оптимальный) набор характеристик продукции.

Предложенный метод применён к задаче подбора технологически и экономически оправданных параметров нефтяного сырья и условий его обработки для получения битумов нужного качества. Размерности задачи охватывали 3-6 результирующих и 8-13 управляющих факторов. Достаточно большой объём выборки (65 наблюдений) позволил изучить влияние кластеризации выборки в зависимости от поставщика сырья с помощью пробит-анализа регрессионных зависимостей. Конкретная реализация была усложнена необходимостью учёта значимости вклада отдельных регрессоров в каждое уравнение регрессии как СФМ, так и ПФМ. При этом обнаружена зависимость идентифицируемости СФМ от вида уравнений ПФМ, которые могут быть и нелинейными.

Всё это потребовало разработки программного обеспечения на основе Excel и Java. С другой стороны, применение компьютерной техники позволило



провести расчёт многих вариантов подбора СФМ с целью получения наиболее простой и устойчивой вычислительной схемы.

Литература

1. Котенко А.П., Букаренко М.Б. Геометрия систем линейных регрессионных уравнений / Известия СНЦ РАН, т.15, №6(3), Самара, – 2013. С. 820-823.

В.А. Куделькин

ИНТЕГРАЦИОННАЯ ПЛАТФОРМА «ИНТЕГРА-ПЛАНЕТА-4D»

(Консорциум «Интегра-С»)

С развитием геоинформационных систем (ГИС), 2D и 3D, появилась необходимость в упрощении пространственной информации. Анализ процессов с помощью ГИС все чаще требует учета их динамики. Для решения этой задачи функция трехмерного представления местности и объектов уже недостаточна — ГИС нуждаются в дополнении четвертым измерением - 4D.

Поэтому компанией «Интегра-С» была разработана уникальная система, которая выходит за рамки простой интеграции датчиков и ПО - «Интегра-Планета-4D».

Мы усовершенствовали алгоритмы программы, и сегодня мы можем объединить все подсистемы безопасности в единую 4D геоинформационную систему, представляющую ситуационный анализ территорий и объектов на многослойных 3D картах с возможностью отображения инцидентов. Теперь вы сможете просматривать произошедшие ранее события, вернувшись в интересующий вас отрезок времени, зафиксированный системой. Это даст вам возможность сформировать статистику происшествий.

Подсистема отображения представляет собой кроссплатформенное приложение, ключевой особенностью которого является единый, бесшовный виртуальный, четырехмерный мир, охватывающий всю планету, эффективно интегрируя, управляя и анализируя пространственно-временные данные от различных систем.

Усовершенствованные алгоритмы системы включают в себя:

- Объединение данных из нескольких источников и применения методов и интерполяции для получения развернутой информации.
- Корреляция данных объединяет схожие датчики или камеры одного объекта, тем самым снижая количество ложных тревог.
- Корреляция событий определяет, казалось бы, разнородные события и уведомляет оператора, что они могут быть связаны, это помогает игнорировать отвлекающие факторы и определить угрозы безопасности.