

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОБЕГА АВТОМОБИЛЯ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА АВТОТРАНСПОРТА

В.В. Костерин

Пробег – ключевой фактор при расчете транспортных издержек

Транспортные издержки включают составляющие затраты на элементарные логистические операции. Подавляющая часть этих затрат приходится непосредственно на процессы, связанные с автомобильными перевозками. К ним относятся затраты на топливо, смазочные материалы, электроэнергию, движущие операции; на техническое обслуживание и текущий ремонт машин (включая запасные части и материалы); на заработную плату водителей (персонала, непосредственно выполняющего перевозку); на амортизацию машин в части, касающейся пробега (моторесурса) и на другие менее значимые.

Все эти затраты – суть, функционал пробега автомобиля, который является определяющим, входит в основной показатель производительности транспортировки, о чём свидетельствуют нормативные документы [1–3], регламентирующие процедуры расчета транспортных издержек на предприятиях и в автотранспортных подразделениях предприятий Российской Федерации. Перечисленные документы, предполагают инструментальные измерения показателей технического состояния автомобилей, их отдельных агрегатов и комплектующих, т. е. претендуют на объективность.

Поэтому использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как NAVSTAR (больше известной, как GPS из США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (Европейское сообщество), Beidou/Compass (Китай) для real-time определения местоположения подвижных объектов на практике доказывает эффективность систем спутникового мониторинга (ССМ) при эксплуатации автотранспорта. Сроки окупаемости довольно дорогостоящих проектов по внедрению ССМ составляют от 2 месяцев до полугода, что с точки зрения экономики очень хороший показатель. Однако этот оптимистичный показатель следует относить сегодня не к техническому совершенству и возможностям ССМ, а, скорее, к психологическому воздействию на водителей факта непрерывного контроля перемещения автомобиля на маршруте и, как следствие, этого повышение исполнительской дисциплины, более строгое соблюдение скоростного режима и графика движения.

Главным аргументом противников «считать деньги из космоса» остаются значительное расхождение показаний традиционных средств измерения пробега (спидометр, тахеометр, курвиметр) с измерениями ГНСС. Длительные наблюдения с помощью подобной системы за маршрутом Магнитогорск – Челябинск – Магнитогорск (около 670 км) показали, что

разброс спутниковых измерений пробега может превышать 10 % (>80 км), что дают повод порассуждать о точности, недостаточной для автоматизации расчётов экономических показателей повод задуматься о погрешностях системы измерений и способах борьбы с ними. Простейшая, казалось бы, задача определения пробега, оказывается, совсем не так проста, как к ней привыкли относиться, не уделяя должного внимания.

Пробег. Проблемы оценки real-time измерений

Имея координатный ряд, пробег или пройденное расстояние, традиционно вычисляется как сумма расстояний между двумя соседними измерениями. Сумма решений обратной геодезической задачи [4]: Даны геодезические координаты $(B1, L1)$ и $(B2, L2)$, широта и долгота, двух точек $Q1$ и $Q2$. Требуется найти кратчайшее расстояние S (длину геодезической линии) между заданными точками, а также прямой и обратный азимуты в точках $Q1$ и $Q2$.

Хорошо известны итерационные методы решения этой задачи: Точный метод Бесселя; способ В.Е. Ольховского; способы Висента; метод Андуйайе; метод Содано и другие [4], требующие значительных вычислительных ресурсов. С учётом «скромности» ресурсов автомобильных ГНСС приемников, на практике, геодезические координаты преобразуются в прямоугольные [5]:

$$\begin{aligned} X &= (N + H) * \cos(B) * \cos(L), \\ Y &= (N + H) * \cos(B) * \sin(L), \\ Z &= ((1 - e^2) * N + H) * \sin(B), \end{aligned}$$

где X, Y, Z – прямоугольные координаты точки; B, L, H – геодезические координаты точки (соответственно широта, долгота в радианах и высота в метрах);

N – радиус кривизны первого вертикала, м; e – эксцентриситет эллипсоида.

$$N = A / \sqrt{1 - e^2 * (\sin(B))^2}, \quad e^2 = 2 * a - a^2,$$

где A – большая полуось эллипсоида равна 6378137 м или 6378245 м; a – сжатие эллипсоида равно 1/298,257223563 или 1/298,3 соответственно для эллипсоида GRS80 (датум WGS84) и эллипсоида Красовского (1940).

Зная прямоугольные координаты и, вспомнив теорему Пифагора, не трудно вычислить расстояние между, двумя точками – длину прямолинейного элементарного отрезка траектории без учета кривизны, в силу его малости. По существу, обычное интегрирование по Риману без учёта неопределённости при определении координат границ отрезка.

Физические принципы спутниковой навигации предполагают неизбежность ошибок местоопределения приёмников сигналов ГНСС. Источники погрешности известны, немногочисленны, а при развитии наземном секторе, и предсказуемы. Действительно, при запасе времени для измерений одной точки (20–40 мин), наличии многочастотной дорогостоящей аппарату-

ры и наземного сектора для дифференциальной коррекции достигается субсантиметровая точность [6]. Но для мгновенных real-time измерений ССМ автотранспорта, при практическом отсутствии единого национально-координатно-временного и навигационного обеспечения в 95 % определения местоположения RMS (среднеквадратическое отклонение) составляет порядка 5,5 м. С учётом погрешности эфимериса, погрешностей часов спутников, эффектов тропо- и ионосферы, отражения радиосигнала и погрешностей самого приёмника реальная погрешность оценивается в 13–15 м [7].

При движении со скоростью 60 км/ч и квантовании 5 секунд такой элементарный отрезок траектории должен иметь длину порядка 80 м. Точность определения координат концов отрезка 15 м соизмерима с вычисляемой длиной. При мгновенных измерениях, когда значения перечисленных выше погрешностей ГНСС изменяются непрерывно, совместно и трудно предсказуемо, гипотеза о Гауссовском законе распределения весьма сомнительна, что подтверждается экспериментами и требует в детальном анализе использования непараметрических методов статистики, значительно усложняющих решение задачи точного вычисления пробега.

Таким образом, имеются реализации траекторий с множествами координат точек, значения которых, случайные величины с неизвестным законом распределения и погрешностью определения соизмеримой с расстоянием между этими точками. Учитывая объёмы реализаций, описанный факт требует совершенного иного, отличного от принятого подхода для вычисления пробега и оценки, точности.

Фрактальная размерность и пробег

Сейчас наиболее остро стоит вопрос оценки не абсолютной величины пробега, а точности вычисления этой величины которая характеризует степень доверия к данным ССМ при принятии решения об использовании этих данных в корпоративной информационной системе. Проведена серия опытов по исследованию влияния значения квантования на результат вычисления длины траекторной линии, которая привели к, казалось бы, парадоксальному результату – уменьшение времени приводит к непропорциональному увеличению пробега. Объяснение этому факту было найдено в трудах Бенуа Мондельброта [8] и Манфреда Шредера [9], в которых обсуждаются вопросы измерений в различных пространствах с использованием теории фракталов.

Воспользовавшись стандартной процедурой и окружив каждую измеренную координату кругом радиуса ε и квадратом со стороной ε , и устремив ε к нулю, проведены вычисления размерности Минковского D_M и размерности Хаусдорфа D . Полученные значения для указанного маршрута соответственно $D_M = 1,1387$ и $D = 1,1298$, что >1 , соответствующей топологической размерности D_T кривой. Длина кривой, топологическая раз-

мерность которой $D_T = 1$ и есть по логике вещей тот самый пробег, который мы ищем, а десятичная добавка в размерностях Минковского (0,1387) и Хаусдорфа (0,1298) может служить оценкой степени доверия к полученным ССМ данным. Размерности Минковского D_M и Хаусдорфа D в наших опытах не совпадают, что очень интересно и даёт дополнительную пищу для размышлений о природе спутниковых измерений.

Библиографический список

1. Правила установления размера расходов на материалы и запасные части при восстановительном ремонте транспортных средств, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 24 мая 2010 г. № 361.
2. Методические рекомендации. «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», приложение к распоряжению Минтранса России от «14» марта 2008 г. № АМ-23-р.
3. Временные нормы эксплуатационного пробега шин автотранспортных средств РД 3112199-1085-02.
4. Комаровский, Ю.А. Использование различных референц-эллипсоидов в судовождении: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.А. Комаровский. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2005. – С. 79–95.
5. ГОСТ Р 51794-2001. Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы преобразования координат. Методы преобразования координат определяемых точек М.: ГОССТАНДАРТ России, 2001. 6 с.
6. НАКLI, Pasi Practical Test on Accuracy and Usability of Virtual Reference Station Method in Finland // FIG Working Week 2004. Athens, Greece, May 22–27, 2004 P. 32–48.
7. Основы спутниковой навигации. Теория и принципы. Системы и обзор приложений – Thalwil Switzerland: UBlox 2007. – С. 48–61.
8. Мондельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мондельброт. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 46–8 с.
9. Шредер, М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечногорая / М. Шредер. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика – 2001. – С. 73–78.