УДК 621.311.1

Г. А. Кравцов
Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины
ул. Генерала Наумова, 15, 03164, Киев-164, Украина

Подход к минимизации необходимых технических ресурсов при хранении метрологических данных в Smart Grid

Описан подход моделирования распределения точек учета в домене потребления электроэнергии в интеллектуальной сети Smart Grid сведением к нормализированной аддитивной функции распределения на базе двумерного нормального распределения. Целью моделирования является уменьшение потребности в технических ресурсах (дисковом пространстве) при хранении метрологических данных с электронной цифровой подписью.

Ключевые слова: *Smart Grid, моделирование, распределение плотности, простейший поток, закон, домен, точка учета.*

Актуальность

На текущий момент в мире проводятся работы по стандартизации Smart Grid, в частности, в соответствии с техническим заданием Европейским организациям по стандартизации на разработку стандартов для внедрения европейской интеллектуальной электросети [1].

Над аналогичными проблемами ведутся работы в Институте проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. Одним из вопросов исследований является надежность функционирования Smart Grid, который связан с определением показателя наработки на отказ, зависящего от структуры домена (распределения точек учета) и решения задачи массового обслуживания. Применение механизмов защиты информации, таких как электронная цифровая подпись (далее — ЭЦП), на метрологических данных приводит к многократному увеличению размера хранимых данных.

Постановка задачи

Целью исследования, представленного в данной работе, является разработка подхода к моделированию динамики распределения точек учета в домене потребления электроэнергии как совокупности систем массового обслуживания без конкуренции с нестационарным процессом прироста точек учета для решения задачи минимизации необходимых технических ресурсов (дискового пространства) при использовании ЭЦП для подписи метрологических данных в Smart Grid.

Решение задачи

Теория систем массового обслуживания может быть применена для моделирования процессов технического сопровождения и обслуживания энергетических сетей, в частности, при моделировании энергосистем, в которых генерация осуществляется за счет энергии ветра (автономное хранение, изменчивость ветра, предложение и спрос, цены и другие факторы могут быть смоделированы как математическая игра) [2]. В данной статье теория систем массового обслуживания будет применена в классическом преставлении — как модель удовлетворения потока заявок на обслуживание при внедрении технологии интеллектуальных энергосетей.

Допустим, что домен представляет собой площадь (территорию), которая может быть разбита на равные по геометрическим размерам квадранты.

Допустим, что:

— количество квадрантов по ширине домена составляет φ единиц;

— количество квадрантов по длине составляет λ единиц;

— квадрант с наименьшим количеством точек учета (далее — ТУ) состоит из Min ТУ;

— на начало внедрения концепции Smart Grid общее количество ТУ в домене составляет $\sum$;

— распределение ТУ в домене определяется нормированной аддитивной функцией нескольких двумерных распределений, где каждое распределение выражается вектором

$$\Phi = \lfloor \varphi_c \lambda_c D_\varphi D_\lambda \rho \rfloor,$$

где φ_c — координата центра распределения по широте; λ_c — координата центра распределения по долготе; D_φ — дисперсия (разброс ТУ) по широте; D_λ — дисперсия (разброс ТУ) по долготе; ρ — коэффициент корреляции между распределением ТУ по долготе и широте.

В соответствии с принятыми обозначениями функция плотности двумерного нормального распределения будет иметь вид:

$$f(i,j,\varphi_c,\lambda_c,D_\varphi,D_\lambda,D_\lambda) = \frac{\dfrac{-1}{e^{2(1-\rho^2)}}\left(\dfrac{(i-\varphi_c)^2}{D_\varphi} - \dfrac{2\rho(i-\varphi_c)(j-\lambda_c)}{\sqrt{D_\varphi D_\lambda}} + \dfrac{(j-\lambda_c)^2}{D_\lambda}\right.}{2\pi\sqrt{D_\varphi D_\lambda(1-\rho^2)}}. \quad (1)$$

Допустим, что в домене определено k локальных максимумов распределения ТУ, которые задаются совокупностью векторов $\Phi = \lfloor \varphi_c \lambda_c D_\varphi D_\lambda \rho \rfloor$, образуя матрицу D размером $k \times 5$. С учетом (1) нормированная аддитивная функция распределения ТУ будет определяться в квадранте по формуле:

$$M(i,j) = Min + round((\Sigma - Min \cdot \varphi \cdot \lambda) \cdot (\frac{1}{k} \cdot \sum_{i-1}^{k} f(i,j,D_{l,1},D_{l,2},D_{l,3},D_{l,4},D_{l,5}))) . \quad (2)$$

В уравнении (2) оператор $round()$ используется для получения целого значения количества ТУ в квадранте.

Моделирование прироста количества ТУ за время внедрения проекта в соответствии с концепцией Smart Grid (далее — время внедрения проекта) требует следующих параметров (ограничений):

Td — время внедрения проекта, в течение которого постоянно неравномерно растет количество ТУ в домене;

$\Delta\Sigma$ — математическое ожидание прироста ТУ за время внедрения проекта.

Допустим, что прирост ТУ носит случайный характер с равномерным распределением по квадрантам. Будем считать, что прирост ТУ за время проекта внедрения концепции Smart Grid носил нормальный характер, который мог бы быть задан функцией плотности

$$g(t) = \frac{1}{2} \cdot (1 + erf(\frac{t - Td}{\sqrt{2DTm}})) , \quad (3)$$

где $erf()$ — функция Лапласа (функция ошибки); Tm — момент максимального прироста ТУ; DTm — разброс момента максимального прироста ТУ.

Функция (3) и модель (2) предоставляют возможность описать уравнение количества распределения ТУ по квадрантам на момент времени t:

$$FM(i,j,t) = M(i,j) + round(g(t) \cdot (MT(i,j) - M(i,j)) , \quad (4)$$

где $FM(i,j,t)$ — количество ТУ в квадранте с координатами i, j на момент времени t; $M(i,j)$ — количество ТУ в квадранте с координатами i, j на момент начала проекта (рис. 1); $MT(i,j)$ — количество ТУ в квадранте с координатами i, j на момент завершения проекта (рис. 2); $round()$ — функция, которая возвращает округленное целое значение количества ТУ.

Проиллюстрируем, как может измениться распределение ТУ на примере одного из проектов численного эксперимента (рис. 1, рис. 2).

Допустим, что домен обслуживают q сервисных организаций, которые не конкурируют одна с другой. Такое допущение является закономерным, если домен обслуживает природная монополия, где сервисные организации являются ее структурными подразделениями.

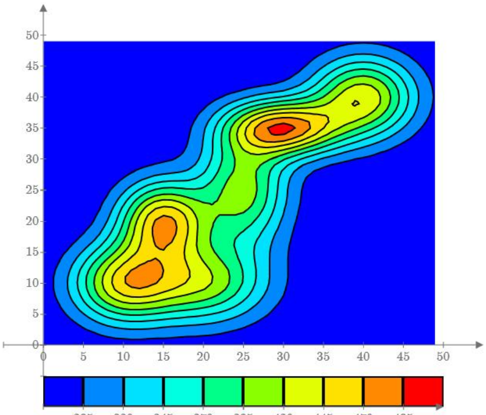

Рис. 1. Линии контура распределения ТУ
в домене размером 50×50

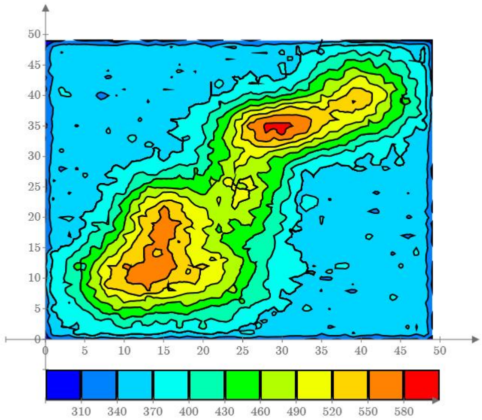

Рис. 2. Линии контура распределения ТУ
в домене размером 50×50 в конце проекта

Допустим, что каждая сервисная организация задается вектором $serv = \lfloor S_{\varphi} S_{\lambda} DS_{\varphi} DS_{\lambda} S\rho \lambda_{serv} \rfloor$, где S_{φ}, S_{λ} — координаты широты и долготы квадранта, который является центром обслуживания; $DS_{\varphi}, DS_{\lambda}$ — разброс (дисперсия) квадрантов обслуживания по широте и долготе соответственно; $S\rho$ — коэффициент корреляции распределения территории обслуживания по широте и долготе; λ_{serv} — интенсивность замены оборудования на всей совокупности квадрантов, которые обслуживаются конкретной сервисной организацией.

Выбранная форма представления дает возможность гибкого описания совокупности сервисных организаций и моделирования процесса обслуживания по замене оборудования.

Будем считать, что потоки обслуживания являются однородными стационарными [2] без последствий или простейшими потоками (Пуассона). На практике, простейшие потоки не используются, однако допустимо использование пуассоновского потока для моделирования.

Количество событий n простейшего потока на интервале времени t распределено по закону Пуассона:

$$P(n,t) = \frac{(\lambda_{serv} \cdot t)^n}{n!} \cdot e^{-\lambda_{serv} \cdot t}. \qquad (5)$$

Распределение Пуассона обладает необходимым качеством — сумма независимых случайных величин, распределенных по закону Пуассона, также имеет распределение Пуассона.

Математическое ожидание количества запросов на обслуживание (замену ТУ) на момент времени t ограничено общим количеством ТУ на данный момент времени (4), является фундаментальным результатом моделирования, которое производилось в системе компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования MathCad Prime 2.0.

Для моделирования процесса поступления заявок на обслуживание (поступление на хранение подписанных метрологических данных) достаточно было бы определить математическое ожидание по закону Пуассона (5) если бы не сложность расчета значения факториала от большого числа. Решение этой проблемы возможно с использованием Закона больших чисел, в соответствии с которым количество поступающих на хранение подписанных метрологических данных в произвольно выбранном квадранте пропорционально произведению интенсивности заявок для выбранной организации на плотность распределения «интереса» обслуживания.

Моделирование процесса замены ТУ на оборудование, поддерживающее функциональность подписи метрологических данных, из расчета на семь сервисных организаций в домене, где выявляется шесть локальных максимумов и нестационарный процесс прироста, проиллюстрируем контурными диаграммами (рис. 3, рис. 4):

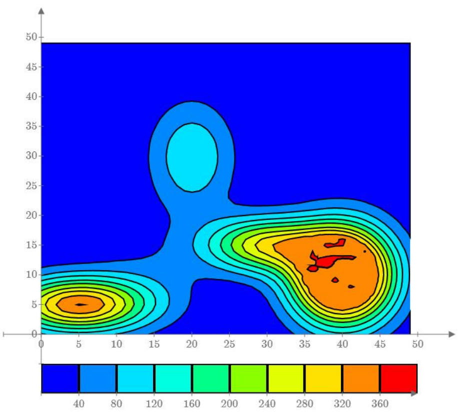

Рис. 3. Линии контура распределения замененных ТУ в домене (50 % длительности проекта)

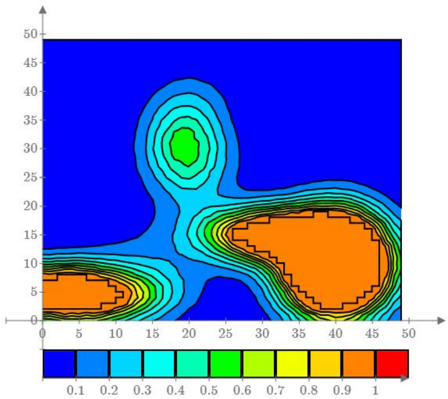

Рис. 4. Линии контура распределения замененных ТУ в домене в конце проекта (доля)

Полученная математическая модель предоставляет возможность рассчитать количество замененного оборудования на конкретный момент времени, а, как следствие, — количество поступающих на хранение подписанных метрологических данных.

Под минимизацией вычислительных ресурсов понимается снижение необходимых объемов хранимой вспомогательной информации при функционировании ЭЦП. т.е. снижение хранимых элементов электронной подписи без изменения уровня защищенности. Дадим формальное описание задачи.

Пусть дано множество элементов ЭЦП (XAdES) $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$, для которого определено множество функций $F(A) = \{f(a_1,t), f(a_2,t),...f(a_n,t)\}$, где $f(a_i,t)$ — функция количества хранимых повторений a_i элемента ЭЦП на момент времени t.

Пусть на множестве A определен некоторый функционал уровеня защиты данных $Sec(F(A))$.

Целевая функция минимизации вычислительных ресурсов примет вид:

$$F(A)_{(Sec(F(A))=\mathrm{const})\to\max} \to \min . \qquad (6)$$

При использовании метода распределенного хранения [4] для форматов подписи XAdES и соблюдении условия его применимости $\lambda_\Delta < \lambda_c$, где λ_Δ — общая интенсивность эмиссии, а λ_c — интенсивность подписи документов, математическое ожидание эффективности способа распределенного хранения, определяемое в доле от потребности в дисковом пространстве без его реализации, определяется как

$$p(\lambda_\Delta, \lambda_c, K) = \frac{2K\lambda_c}{K\lambda_\Delta + \lambda_c},$$

где K — математическое ожидание соотношения размеров инкапсулированного объекта в подпись к размеру подписи в формате XAdES-X.

Если $\overline{K} = \dfrac{\lambda_\Delta}{\lambda_c}$, то эффективность стремится к оценке

$$p(\overline{K}, K) = \frac{2K}{K\overline{K} + 1}. \qquad (7)$$

Эффективность (7) графически может быть представлена, как показано на рис. 5.

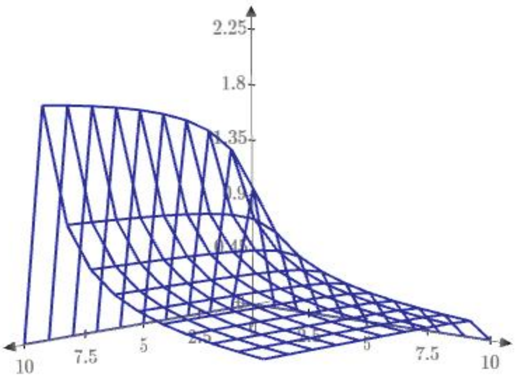

Рис. 5. 3D-график эффективности распределенного хранения (доля)

Как видно из рис. 5, полученная эффективность отвечает требованиям целевой функции минимизации потребности в технических ресурсах (6).

Выводы

Предложен подход к математическому моделированию нестационарных процессов в интеллектуальных электроэнергетических сетях, с помощью которого решена задача минимизации необходимых технических ресурсов (дискового пространства) информационной системы Smart Grid при хранении больших объемов юридически значимых метрологических данных в течение срока исковой давности. С помощью подхода был проведен расчет домена потребления электроэнергии в г. Киеве, который выявил проблему хранения информации из-за потребности в Петабайтных размерах дискового пространства.

Подход может применяться для расчета доменов произвольной структуры при использовании механизма ЭЦП как инструмента безопасности в Smart Grid.

Предложенный подход также позволяет изучать иные процессы (например, загрузка каналов передачи данных, прогнозирование потребления электроэнергии в реальном масштабе времени и др.), которые происходят в энергетических сетях, и их влияние на формирование требований к инфраструктуре таких сетей.

1. *Европейская* комиссия Генерального директората по энергетике. Директорат B. Техническое задание Европейским организациям по стандартизации (ЕОС) на разработку стандартов для обеспечения внедрения европейской интеллектуальной электросети. M/49 EN [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.smartgrid.ru/smartgrid/analytics/2012/analytics56/centercolumn/permanent/SmartgridArticleBrief/SmartgridArticleInnerCollection/0/0/text_files/file/tech.pdf

2. *He M*. Multiple Timescale Dispatch and Scheduling for Stochastic Reliability in Smart Grids with Wind Generation Integration [Электронный ресурс] / M. He, S. Murugesan, J. Zhang. — Режим доступа: http://arxiv.org/pdf/1008.3932v2.pdf

3. *Вентцель Е.С.* Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. — М.: Советское радио, 1972. — 552 с.

4. *Кравцов Г.* Спосіб розподіленого зберігання елементів цифрового підпису [Текст] / Г. Кравцов // «Захист інформації і безпека інформаційних систем»: матеріали II-ї Міжнародної наук.-техн. конф. — Львів, 2013. — С. 58.

Поступила в редакцию 18.08.2013