

альных объектов и новых типологических видов, а важны принципы формирования этих идей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шабиев С.Г., Болотов В.П. Интеграция транспорта и современной застройки. Вопросы планировки и застройки городов / Материалы XII Международной научно-практической конференции. – Пенза: ПГУАС, 2005. – С. 226-230.
2. Шабиев С.Г., Болотов В.П. Архитектурно-экологический мониторинг реконструкции многофункциональных систем / Наука и техноло-

гии. Том 2. Труды XXVI Российской школы. – М.: РАН, 2006. – С. 234-241.

3. Шабиев С.Г., Болотов В.П. Тенденции взаимодействия архитектуры многофункциональных систем и дизайна транспортных средств / Проблемы архитектуры, градостроительства и дизайна (наука и практика): Сборник научных трудов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – С. 6-12.

4. Болотов В.П. Эволюция дизайна транспортных средств. Архитектура и современность / Материалы 11 Международной научно-практической конференции. – Пенза: ПГУАС, 2007. – С. 21-23.

Инновационные технологии

Физико-математические науки

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗА ЧИСЛА АБОНЕНТОВ В СОТОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Бабин А.И., Шорин О.А.

*Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий (НИРИТ)
Москва, Россия*

В основу известных теоретических и прикладных методов проектирования систем подвижной радиосвязи в настоящее время положен подход классической теории массового обслуживания, ориентирующийся на фиксированный уровень общей нагрузки, который понимается, как заданный внешними условиями. Для существующих систем связи подвижных абонентов, включая сотовые сети вплоть до 2-го поколения, он вполне оправдан, хотя в определенных ситуациях не позволяет обеспечить нужную точность. Справедливость использования методов классической теории массового обслуживания основывается на том, что зонное покрытие в системах до 2-го поколения организовано так, что отдельные БС обслуживают большое число абонентов с низкой удельной средней нагрузкой (от 0.001 до 0.03 Эрл./абонент). Из-за измельчения структуры покрытия и увеличения удельной нагрузки для систем 3G, даже при наличии условий стационарности и однородности, оказывается неверным закон Эрланга, повсеместно утвердившийся в качестве инструмента решения задач разработки и анализа систем связи. Он трансформируется в закон Энгеста-О'Делла, для которого уже не существует однозначной связи между средней нагрузкой и вероятностью блокировок. Поэтому становится важно, не только понять, как решать задачи борьбы с перегрузками в новых условиях, но и опре-

делить границы применимости традиционных методов, установить каким именно образом уменьшение размеров сот, повышение мобильности и, может быть, некоторых других параметров влияет на эти границы.

Изменение профиля современных систем связи, в котором основной режим отводится обмену цифровыми данными, приводит к тому, что удельное значение нагрузки на абонента существенно увеличивается. При этом информационные потоки приобретают прямую связь с потоками мобильности. Локальные концентрации абонентов, возникающие по причине автомобильных пробок, проведения массовых мероприятий, возникновения внешних синхронизирующих условий непосредственно порождают локальные перегрузки в информационных потоках. В таких условиях особое значение приобретают вопросы создания адекватных описательных моделей и методов контроля мобильности на уровне отдельных сот/зон. В качестве технической основы для решения поставленной задачи может выступать служба контроля мобильности (слой MM), которая применяется в существующих системах для решения задач ограниченного поиска абонентов при вызовах и поддержки непрерывной связи. Таким образом для эффективного использования пропускной способности системы по трафику необходимо иметь более общие модели системы, как системы массового обслуживания, и, на их основе, синтезировать алгоритмы динамического управления ресурсом системы. В этой постановке интенсивность Пуассоновского потока λ изменяется во времени как стохастический диффузионный процесс, удовлетворяющий уравнению движения в форме Ито:

$$\frac{d}{dt} \lambda(t) = -\alpha(\lambda(t) - \lambda_0) + \frac{\beta}{\lambda(t)} + \sqrt{\gamma} \cdot n_{\lambda}(t), \quad (1)$$

где $n_{\lambda}(t)$ - порождающий процесс для уравнения движения в виде белого гауссовского шума

(БГШ) с единичной двусторонней спектральной

плотностью мощности ($N_0/2=1$), α, β, γ и λ_0 - известные постоянные параметры.

Известно, что уравнение (1) описывает Марковский диффузионный процесс с коэффициентами сноса и диффузии:

$$A(\lambda, t) = -\alpha(\lambda - \lambda_0) + \frac{\beta}{\lambda}; \quad B(\lambda, t) = \gamma.$$

Уравнение Фокера-Планка-Колмогорова (ФПК), описывающее плотность вероятности λ , при этом будет таким:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} W(\lambda, t) &= -\frac{\partial}{\partial \lambda} (A(\lambda, t)W(\lambda, t)) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} (B(\lambda, t)W(\lambda, t)) = \\ &= \frac{\partial}{\partial \lambda} (\alpha(\lambda - \lambda_0)W(\lambda, t)) + \frac{\gamma}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} W(\lambda, t). \end{aligned} \quad (2)$$

В установившемся состоянии плотность вероятности, согласно (2), должна удовлетворять уравнению:

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} (\alpha(\lambda - \lambda_0)W_{st}(\lambda)) + \frac{\gamma}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} W_{st}(\lambda) = 0.$$

Последнее уравнение можно проинтегрировать, с учетом того, что, согласно физическому смыслу задачи, $W_{st}(\lambda) \xrightarrow{\lambda \rightarrow \infty} 0$. В результате получим:

$$\frac{d}{d\lambda} \frac{W_{st}(\lambda)}{W_{st}(\lambda)} = \frac{2}{\gamma} \left(-\alpha(\lambda - \lambda_0) + \frac{\beta}{\lambda} \right). \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение (3) имеет решение:

$$W_{st}(\lambda) = C_N \cdot \lambda^{\frac{2\beta}{\gamma}} \cdot \exp\left(-\frac{\alpha}{\gamma}(\lambda - \lambda_0)^2\right), \quad (4)$$

где C_N - коэффициент нормировки, точное представление которого не имеет принципиального значения.

Из (4) видно, что модель (1) при различном выборе коэффициентов может приводить к стационарным распределениям параметра интен-

сивности λ , подчиняющимся многомерным законам Релея, Гаусса или законам близким к распределению Райса.

Наблюдению доступна реализация Пуассоновского потока с моментами возникновения событий

$$\vec{t} = (t_1, t_2, \dots, t_k, \dots). \quad (5)$$

Предполагаем, что известны параметры уравнения движения (1) и доступны наблюдения моментов Пуассоновского потока (5), а также начальное распределение интенсивности, которое достаточно хорошо аппроксимирует нормальный закон:

$$W_0(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left(-\frac{(\lambda - \Lambda_0)^2}{2\sigma_0^2}\right), \quad (6)$$

где Λ_0 и σ_0^2 - априорные среднее и дисперсия интенсивности λ , причем $\Lambda_0 \gg \sigma_0$, что позволяет не принимать во внимание возможность $\lambda < 0$ в априорном распределении (6).

В таких условиях требуется решить задачу фильтрации стохастического процесса $\lambda(t)$. Для решения поставленной задачи воспользуемся

методикой инвариантного погружения. При этом придется выполнить ее обобщение. Действительно, при выводе уравнений фильтрации с помощью техники инвариантного погружения (приближенная методика) используется компонента, связанная с наблюдениями, в виде предельного отношения:

$$F(z(t), x(t)) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\ln(W_n(z(t), x(t)))}{\Delta t}, \quad (7)$$

где $W_n(z(t), x(t))$ - плотность вероятности наблюдения на интервале $[t, t + \Delta t)$ процесса $z(t)$, при условии того, что фильтруемый сигнал на том же интервале имеет вид $x(t)$. В традиционной постановке предполагается, что в канале

наблюдения присутствует аддитивная смесь полезного сигнала $h[x(t), t]$ и белого гауссовского шума $v(t)$ с двусторонней спектральной плотностью мощности Ψ_v . При этом (7) приводит к

$$F(z(t), x(t)) = -\frac{1}{2} \Psi_v^{-1}(z(t) - h[x(t), t])^2,$$

а в уравнениях фильтрации появляется составляющая, пропорциональная

$$\frac{\partial}{\partial x(t)} F(z(t), x(t)) = \frac{\partial h[x(t), t]}{\partial x(t)} \Psi_v^{-1}(z(t) - h[x(t), t]) \quad (8)$$

и пропорциональная

$$\frac{\partial^2}{\partial x(t)^2} F(z(t), x(t)) = \frac{\partial}{\partial x(t)} \left[\frac{\partial h[x(t), t]}{\partial x(t)} \Psi_v^{-1}(z(t) - h[x(t), t]) \right] \quad (9)$$

- в уравнениях для дисперсии ошибки фильтрации.

В нашем случае $F(z(t), \lambda(t))$ будет иметь другой вид, т.к.

$$W_n(z(t), \lambda(t)) = \begin{cases} 1 - \lambda(t)\Delta t, & \text{если на интервале } [t, t + \Delta t) \text{ нет точек } t_k \text{ Пуассоновского потока} \\ \lambda(t)\Delta t, & \text{если на интервале } [t, t + \Delta t) \text{ присутствует одна из точек Пуассоновского потока} \end{cases}$$

Подставляя в (7) последнее соотношение, находим

$$F(z(t), \lambda(t)) = \begin{cases} -\lambda, & \text{при } t \neq t_k, k = 1, 2, \dots, \\ \frac{\ln \Delta t + \ln(\lambda)}{\Delta t}, & \text{при } t = t_k, k = 1, 2, \dots. \end{cases}$$

Соответственно, в уравнениях фильтрации следует вместо (8) и (9) использовать

$$\frac{\partial}{\partial \lambda(t)} F(z(t), \lambda(t)) = \begin{cases} -1, & \text{при } t \neq t_k, k = 1, 2, \dots, \\ \frac{1}{\lambda} \delta(t - t_k), & \text{при } t = t_k, k = 1, 2, \dots, \end{cases} \quad (10)$$

и

$$\frac{\partial^2}{\partial \lambda(t)^2} F(z(t), \lambda(t)) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \neq t_k, k = 1, 2, \dots, \\ -\frac{1}{\lambda^2} \delta(t - t_k), & \text{при } t = t_k, k = 1, 2, \dots, \end{cases} \quad (11)$$

где $\delta(t - t_k)$ - дельта-функция Дирака с особенностью в точке (моменте) $t = t_k$.

Выполняя указанную подстановку, приходим к искомым уравнениям фильтрации интенсивности Пуассоновского потока:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \hat{\lambda}(t) = -\alpha(\hat{\lambda}(t) - \lambda_0) + \frac{\beta}{\hat{\lambda}(t)} + P(t) \left[\frac{1}{\hat{\lambda}(t)} \sum_k \delta(t - t_k) - 1 \right], \\ \frac{d}{dt} P(t) = \gamma - 2P(t) \cdot \left(\alpha + \frac{\beta}{\hat{\lambda}^2(t)} \right) - P^2(t) \frac{1}{\hat{\lambda}^2(t)} \sum_k \delta(t - t_k), \end{cases} \quad (12)$$

Решение системы (12) следует производить с начальными условиями

$$\begin{cases} \hat{\lambda}(0) = \Lambda_0, \\ P(0) = \sigma_0^2. \end{cases} \quad (13)$$

Совокупность уравнений (12) и (13) определяет решение поставленной задачи фильтрации интенсивности пуассоновского потока (1), (5). Соответствующий алгоритм может быть реализован с помощью доступных технических средств.

НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ СКРЕМБЛИРОВАНИЯ

Котенко В.В., Евсеев А.С.

Южный Федеральный Университет

Ростов-на-Дону, Россия

Основу подхода составляет представление ансамбля криптограмм Y , как результата искажения ансамбля сообщений X виртуальным шумом скремблирования. Тогда коэффициент избыточности может быть представлен как

$$\mu_Y = \frac{B[Y]}{H_{\max}[Y]} = 1 - \frac{I[X;Y]}{H_{\max}[Y]} - \frac{H[Y/X]}{H_{\max}[Y]}. \quad (1)$$

Учитывая, что элементы ансамбля Y можно рассматривать как искаженные по закону ключа результаты цифрового представления ансамбля X , нижняя граница $H_{\max}[Y]$ может быть определена как:

$$H_{\max}[Y] > \log_2 M_x = \log_2 2^{kC_e} = kC_e, \quad (2)$$

где C_e – эпсилон-энтропия цифрового представления речевого процесса.

Учитывая физическую интерпретацию C_e , как минимальное число двоичных в единицу времени необходимое для восстановления рече-

вой информации с заданной точностью, коэффициент k определяется как $k = T_d$, где T_d – средняя длительность логических элементов речи. С учетом (2) выражение (1) может быть приведено к виду

$$\mu_Y \geq 1 - \overset{\circ}{I} - \frac{1}{kC_e} H[X/Y], \quad (3)$$

где $\overset{\circ}{I} = I[X;Y]/(kC_e)$ нормированное значение среднего количества информации.

На основании [1] условная энтропия $H[X/Y]$ представляется как

$$H[X/Y] \leq (1-W)\log_2(2^{kC_e} - 1) - (1-W)\log_2(1-W) - W\log_2 W, \quad (4)$$

где W – разборчивость. Значение коэффициента α для речевого процесса согласно [1] определяется как $\alpha \approx 1000$.

Согласно (4) выражение (3) окончательно может быть приведено к виду

$$\mu_Y \geq 1 - \overset{\circ}{I} - (1-W)\log_2(2^{kC_e} - 1)/(kC_e) - ((1-W)\log_2(1-W) + W\log_2 W)/(kC_e). \quad (11)$$

Зависимость словесной и слоговой избыточности скремблирования от уровня виртуального шума скремблирования приведена в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость словесной и слоговой избыточности скремблирования от уровня виртуального шума скремблирования

Сигнал/шум	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1	3
Словесная избыточность	0,104	0,085	0,089	0,196	0,288	0,4	0,47	0,5	0,54	0,84
Слоговая избыточность	0,156	0,12	0,131	0,23	0,31	0,41	0,48	0,51	0,57	0,831

Предложенный подход впервые открывает возможность оценки избыточности скремблирования относительно различных логических форм речи. Его дальнейшее развитие позволит выйти на принципиально новый уровень оценки эффек-

тивности скремблирования на основе комплексного анализа разборчивости и избыточности.