

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Томский государственный университет
Горно-Алтайский государственный университет
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ СЛОЖНЫХ СТРУКТУР

**МАТЕРИАЛЫ ДЕСЯТОЙ РОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ**

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2014

имеет место первое состояние; если $\lambda(t) = \lambda_2$, то – второе состояние ($\lambda_1 > \lambda_2$). Окончание i -го ($i = 1, 2$) состояния процесса $\lambda(t)$ на полуинтервале $[t, t + \Delta t)$ с последующим переходом из состояния в состояние и наступлением либо ненаступлением события потока возможно в двух вариантах: 1) i -ое состояние на полуинтервале $[t, t + \Delta t)$ заканчивается с вероятностью $\alpha_i \Delta t + o(\Delta t)$ и процесс $\lambda(t)$ с вероятностью единица переходит в j -ое состояние и событие потока при этом не наступает ($i, j = 1, 2, i \neq j$); 2) i -ое состояние на полуинтервале $[t, t + \Delta t)$ заканчивается с вероятностью $\lambda_i \Delta t + o(\Delta t)$ и процесс $\lambda(t)$ переходит: а) из i -го состояния в j -ое и наступает событие потока (совместная вероятность этой ситуации $P_1(\lambda_j | \lambda_i)$, $i, j = 1, 2$); б) из i -го состояния в j -ое и событие потока не наступает (совместная вероятность этой ситуации $P_0(\lambda_j | \lambda_i)$, $i, j = 1, 2, i \neq j$); при этом $P_1(\lambda_i | \lambda_i) + P_1(\lambda_j | \lambda_i) + P_0(\lambda_j | \lambda_i) = 1$, $i, j = 1, 2, i \neq j$. Одновременное осуществление первого и второго вариантов на полуинтервале $[t, t + \Delta t)$ имеет вероятность $o(\Delta t)$. Таким образом, длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ в i -ом состоянии определяется либо экспоненциальной функцией распределения $F_i^{(1)}(t) = 1 - e^{-\alpha_i t}$, $i = 1, 2$, либо – $F_i^{(2)}(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$, $i = 1, 2$. В сделанных предположениях $\lambda(t)$ – марковский процесс. Блочная матрица инфинитезимальных коэффициентов примет вид

$$D = \begin{pmatrix} -(\lambda_1 + \alpha_1) & \alpha_1 + \lambda_1 P_0(\lambda_2 | \lambda_1) \\ \alpha_2 + \lambda_2 P_0(\lambda_1 | \lambda_2) & -(\lambda_2 + \alpha_2) \end{pmatrix} \begin{vmatrix} \lambda_1 P_1(\lambda_1 | \lambda_1) & \lambda_1 P_1(\lambda_2 | \lambda_1) \\ \lambda_2 P_1(\lambda_1 | \lambda_2) & \lambda_2 P_1(\lambda_2 | \lambda_2) \end{vmatrix} = \|D_0 \mid D_1\|.$$

Элементами матрицы D_1 являются интенсивности переходов процесса $\lambda(t)$ из состояния в состояние с наступлением события. Недиagonальные элементы матрицы D_0 – интенсивности переходов из состояния в состояние без наступления события. Диагональные элементы матрицы D_0 – интенсивности выхода процесса $\lambda(t)$ из своих состояний, взятые с противоположным знаком. Отметим, что если $P_0(\lambda_2 | \lambda_1) = P_0(\lambda_1 | \lambda_2) = 0$, то имеет место модулированный синхронный поток событий [2].

Так как процесс $\lambda(t)$ и типы событий (события, наступившие в том или ином состоянии) являются ненаблюдаемыми, а наблюдаемыми являются только временные моменты наступления событий на временной оси $t_1, t_2, \dots$, то необходимо по этим наблюдениям оценить состояние процесса $\lambda(t)$ в момент окончания наблюдений. Рассматривается стационарный режим функционирования потока событий, поэтому переходными процессами на интервале наблюдения (t_0, t) , где t_0 – начало наблюдений, t – окончание наблюдений (момент вынесения решения), пренебрегаем. Решение о состоянии потока выносится по критерию максимума апостериорной вероятности. Находится явный вид апостериорной вероятности $\omega(\lambda_i | t_1, \dots, t_m, t)$, $i = 1, 2$, того, что в момент времени t значение процесса $\lambda(t) = \lambda_i$ (m – количество наблюденных событий за время t), при этом $\omega(\lambda_1 | t_1, \dots, t_m, t) + \omega(\lambda_2 | t_1, \dots, t_m, t) = 1$. Решение о состоянии процесса $\lambda(t)$ выносится путем сравнения апостериорных вероятностей: если $\omega(\lambda_j | t_1, \dots, t_m, t) \geq \omega(\lambda_i | t_1, \dots, t_m, t)$, $i = 1, 2, i \neq j$, то оценка состояния процесса есть $\hat{\lambda}(t) = \lambda_j$.

Литература

1. Gortsev A.M., Nezhe'skaya L.A., Solov'ev A.A. Optimal state estimation in map event flows with unextendable dead time // Automation and Remote Control. 2012. 73(8), pp. 1316–1326.
2. Голофастова М.Н., Нежелская Л.А. Апостериорные вероятности состояний модулированного синхронного потока событий // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы девятой Российской конференции с международным участием. Томск : Изд-во НТЛ, 2012. С. 83.

ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ МЕРТВОГО ВРЕМЕНИ В ОБОБЩЕННОМ ПОЛУСИНХРОННОМ ПОТОКЕ СОБЫТИЙ

Л.А. Нежелская, А.А. Калягин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
ludne@mail.ru

Настоящий доклад является развитием исследований, проведенных в [1, 2]. Одним из искажающих факторов при оценке состояний и параметров потока событий выступает мертвое время регистрирующих приборов. События, наступившие в течение периода мертвого времени, теряются. Для

того, чтобы оценить потери событий потока, возникающие из-за эффекта мертвого времени, необходимо оценить его длительность.

Рассматривается полусинхронный дважды стохастический поток с иницированием дополнительных событий (обобщенный полусинхронный поток событий), интенсивность которого есть кусочно-постоянный случайный процесс $\lambda(t)$ с двумя состояниями λ_1 и λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2$). В течение временного интервала, когда $\lambda(t) = \lambda_i$, имеет место пуассоновский поток событий с интенсивностью λ_i , $i=1,2$. Переход из первого состояния процесса $\lambda(t)$ во второе возможен только в момент наступления события, при этом переход осуществляется с вероятностью p ($0 \leq p \leq 1$); с вероятностью $1-p$ процесс $\lambda(t)$ остается в первом состоянии. Тогда длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ в первом состоянии есть случайная величина с экспоненциальной функцией распределения $F_1(\tau) = 1 - e^{-p\lambda_1\tau}$. Переход из второго состояния процесса $\lambda(t)$ в первое состояние может осуществляться в произвольный момент времени. При этом длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ во втором состоянии распределена по экспоненциальному закону $F_2(\tau) = 1 - e^{-\alpha\tau}$. При переходе процесса $\lambda(t)$ из второго состояния в первое инициируется с вероятностью δ ($0 \leq \delta \leq 1$) дополнительное событие в первом состоянии. В сделанных предположениях $\lambda(t)$ – скрытый марковский процесс. Блочная матрица инфинитезимальных коэффициентов примет вид

$$D = \left\| \begin{array}{cc|cc} -\lambda_1 & 0 & (1-p)\lambda_1 & p\lambda_1 \\ (1-\delta)\alpha & -(\lambda_2 + \alpha) & \delta\alpha & \lambda_2 \end{array} \right\| = \|D_0 \mid D_1\|.$$

Элементами матрицы D_1 являются интенсивности переходов процесса $\lambda(t)$ из состояния в состояние с наступлением события. Недиagonальные элементы матрицы D_0 – интенсивности переходов из состояния в состояние без наступления события. Диагональные элементы матрицы D_0 – интенсивности выхода процесса $\lambda(t)$ из своих состояний, взятые с противоположным знаком. После каждого зарегистрированного события в момент времени t_k ($k = 1, 2, \dots$) наступает время фиксированной длительности T (мертвое время), в течение которого другие события исходного обобщенного полусинхронного потока событий недоступны наблюдению. События, наступившие в течение мертвого времени, не вызывают продления его периода (непродлевающееся мертвое время). По окончании мертвого времени первое наступившее событие снова создает период мертвого времени T и т.д.

Так как процесс $\lambda(t)$ и типы событий (события, наступившие в том или ином состоянии) являются принципиально ненаблюдаемыми, а наблюдаемыми являются только временные моменты наступления событий на временной оси $t_1, t_2, \dots, t_k$ ($k = 1, 2, \dots$), то необходимо по этим наблюдениям оценить длительность мертвого времени T . Рассматривается стационарный режим функционирования наблюдаемого потока событий.

В силу предпосылок моменты наступления событий $t_1, t_2, \dots, t_k$ ($k = 1, 2, \dots$) образуют вложенную цепь Маркова. Вычисляются величины $\tau_k = t_{k+1} - t_k$, $k = 1, 2, \dots$.

Строится функция правдоподобия $L(\lambda_i, \alpha, p, \delta, T \mid \tau^{(1)}, \dots, \tau^{(k)}) = L(T \mid \tau^{(1)}, \dots, \tau^{(k)})$. Ставится оптимизационная задача: $L(T \mid \tau^{(1)}, \dots, \tau^{(k)}) \Rightarrow \max$ по T ($0 \leq T \leq \tau_{\min}$). Аналитически показывается, что функция правдоподобия достигает своего глобального максимума при $T = \tau_{\min}$. Тогда согласно методу максимального правдоподобия оценка длительности мертвого времени есть $\hat{T} = \tau_{\min}$.

Литература

1. Калягин А.А. Плотность вероятностей длительности интервала между соседними событиями обобщенного полусинхронного потока при непродлеваемом мертвом времени // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы девятой Российской конференции с международным участием. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. С. 89.
2. Gortsev A.M., Nezhe'skaya L.A. Estimation of the dead-time period and parameters of a semi-synchronous double-stochastic stream of events // Measurement Techniques. V. 46, No. 6. P. 536–545.