ОПТИМАЛЬНОЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О. В. Ридченко

Рассмотрим группу из q динамических систем, поведение i-ой системы в которой на промежутке времени T=[t_*, t^*] описывается уравнением

$$\dot{x}_i = A_i(t)x_i + \sum_{j=1, j\neq i}^{q} A_{ij}(t)x_j\,, \tag{1}$$

где $A_{ij}(t) \in R^{n_i \times n_j}$, $(A_{ii}(t) = A_i(t))$, $t \in T$, $i, j \in I = \{1,2,\dots,q\}$, — кусочно-непрерывные функции, $x_i = x_i(t) \in R^{n_i}$ — состояние i-ой системы в момент времени t.

Неизвестные начальные состояния $x_i(t_*) \in R^{n_i}$, $i \in I$, систем имеют вид $x_i(t_*) = x_{0i} + G_i z_{i,}$ где $x_{0i} \in R^{n_i}$ — заданный вектор, $G_i \in R^{n_i \times k_i}$; $z_i \in Z_i \subset R^{k_i}$ — неизвестный параметр, Z_i={$z_i \in R^{k_i}$: $d_{*i} \le z_i \le d_i^*$} — заданное множество. Множества $X_{0i} = \{x_{0i} + G_i z_i :$ $z \in Z_i\}$, $i \in I$, назовем априорными распределениями параметров начального состояния, i-ой системы (1); $X_0 = \{x = (x_i, i \in I),\ x_i \in X_{0i}\}$ — априорным распределением параметров начального состояния группы.

В процессе наблюдения состояния систем не доступны измерению, i-ая система располагает только сигналами

$$y_i(\tau) = \int_{\tau-h}^{\tau} C_i(t)x_i(t)dt + \xi_i(\tau),\ \tau \in \overline{T}_h = T_h \setminus t_*, \tag{2}$$

получаемыми ее измерительным устройством. Здесь $C_i(t) \in R^{m_i \times n_i}$, $t \in T$, – кусочно-непрерывная функция; $\xi_i(\tau) \in R^{m_i}$, $\tau \in \overline{T}_h$, – ошибки измерения, удовлетворяющие неравенствам:

$$\xi_{*i} \le \xi_i(\tau) \le \xi_i^*,\ \tau \in \overline{T}_h; \quad 0 < \left\| \xi_i^* - \xi_{*i} \right\| < \infty.$$

Предполагается, что по каким-то причинам невозможно централизованное наблюдение группы, при котором единый центр вычисляет апостериорное распределение начального состояния, соответствующее сигналам измерения $y(\cdot) = (y_i(t), i \in I, t \in T_h)$. Каждая система в каждый момент $\tau \in T_h$ вычисляет апостериорное распределение, используя данные измерительного устройства и вычисления, проведенные в предыдущий момент $\tau - h$ остальными системами.

Множество $\hat{X}^i(\tau)$ называется i-ой аппроксимацией апостериорного распределения начального состояния $x_i(t_*)$, соответствующим сигналам $y_{i\tau}(\cdot)=(y_i\,(t), i\in I, t\in T_h(\tau)=\ \{t_*+h,\dots,\ \tau\})$, если оно состоит из тех и только тех векторов $x_i\in X_{0i}$, которые вместе с некоторыми возможными ошибками измерения $\xi_i(t),\, t\in T_h(\tau)$, способны породить сигнал $y_{i\tau}(\cdot)$.

Пусть задана система направлений $h_{(k)}, k\in K=\{1,2,\dots,m\}$, $h_{(k)}$ — k-я строка матрицы $H=(H_i, i\in I)$. Текущими задачами оптимального наблюдения для i-ой системы назовем вычисление оценок i-ой аппроксимации по заданной системе направлений H:

$$\alpha_k^i(\tau)=\max h'_{(k)}\,x,\ \beta_k^i(\tau)=\min h'_{(k)}\,x,\ x\in\hat{X}^i(\tau),\ k\in K. \tag{3}$$

Пусть к моменту τ i-ая система получила оценки $\alpha_k^j(\tau-h), \beta_k^j(\tau-h)$, $k\in K, j\in I_i=I\setminus i,$ подсчитанные остальными системами для предыдущего момента времени $\tau-h$. Числа $\overline{\alpha}^i(\tau)=\ (\overline{\alpha}_k^i(\tau),\, k\in K),\quad \overline{\beta}^i(\tau)=(\overline{\beta}_k^i(\tau),$ $k\in K)$: $\overline{\alpha}_k^i(\tau)=\min\{\alpha_k^i(\tau),\alpha_k^j(\tau-h),\ j\in I_i\},\ \ \overline{\beta}_k^i(\tau)=\max\{\beta_k^i(\tau),\ \beta_k^j(\tau-h),$ $j\in I_i\},\ \ k\in K;$ называются i-ыми согласованными оценками апостериорного распределения $\hat{X}(\tau)=\bigcap_{i\in I}\hat{X}^i(\tau)$ начального состояния группы.

Назовем устройство, решающее задачи оптимального наблюдения (3) и вычисляющее оценки $\overline{\alpha}_k^i(\tau),\ \overline{\beta}_k^i(\tau),$ оптимальным эстиматором.

Пусть $s_i^e(\tau)$ — время, за которое *2m* эстиматоров, работая параллельно, строят оценки $\overline{\alpha}_k^i(\tau), \overline{\beta}_k^i(\tau)$. Если выполняется неравенство $s_i^e(\tau)<h,\ i\in I,$ то оптимальные эстиматоры могут наблюдать за группой (1), $i\in I,$ в реальном времени.

Опишем алгоритм децентрализованного наблюдения. До начала процесса наблюдения решается централизованная задача оптимального наблюдения по априорному распределению X_0:

$\overline{\alpha}_k^i(0)=\max h'_{(k)}\,x,\ \overline{\beta}_k^i(0)=\min h'_{(k)}\,x,\ x\in X_0,\ k\in K.$

В произвольный момент $\tau\in\overline{T}_h$ i-ая система получает сигнал $y_i(\tau)$, и по имеющимся сигналам $y_{i\tau}(\cdot)$ и оценкам $\overline{\alpha}_k^i(\tau-h),\ \overline{\beta}_k^i(\tau-h),\ k\in K$, вычисляет оценки $\alpha_k^i(\tau),\ \beta_k^i(\tau),\ k\in K,$ решив *2m* задач оптимального наблюдения (3). Затем находятся согласованные оценки $\overline{\alpha}_k^i(\tau), \overline{\beta}_k^i(\tau),$ которые передаются всем системам и используются на следующей итерации.

Для обеспечения неравенста $s_i^e(\tau) < h, i \in I$, задачи (3) в момент $\tau \in \overline{T}_h$ решим двойственными методами [1, 2], взяв в качестве начальных опор оптимальные опоры соответствующих задач, решенных для предыдущего момента $\tau - h$. В момент t_* в качестве начальных опор при решении задач наблюдения (3) возьмем пустые опоры.

В [1, 2] показано, что задачи, сформированные для момента τ, незначительно отличаются от задач, решенных для момента $\tau - h$, и поэтому достаточно небольшого количества итераций для проведения коррекций оптимальных опор. Каждая итерация сопровождается интегрированием прямой или сопряженной системы на небольших промежутках времени, поэтому описанный метод позволяет децентрализованно наблюдать в реальном времени за группой систем достаточно высокого порядка.

Литература

1. *Балашевич Н. В., Габасов Р., Кириллова Ф. М.* // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2000. Т. 40. № 6. С. 838–859.
2. *Габасов Р., Дмитрук Н. М., Кириллова Ф. М.* // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2002. №2. С. 35–46.

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ АЛГОРИТМОВ ОБФУСКАЦИИ

А. Н. Титович

ВВЕДЕНИЕ

Развитие средств разработки программного обеспечения сопровождается двумя параллельными процессами: появлением новых механизмов взлома и созданием новых способов защиты от существующих и будущих средств взлома. Этот процесс чем-то напоминает холодную войну, которую непонятно кто и как должен останавливать. С началом использования платформы Java, а затем и платформы .NET также возникла проблема защиты написанных для этих платформ приложений, заключавшаяся в том, что технические особенности Java и .NET (в частности, сам механизм запуска приложений в виртуальной среде) допускают легкую и эффективную декомпиляцию, результатом которой является код, практически идентичный исходному. Обфускация позволяет обойти этот недостаток.

Обфускация (от англ. *to obfuscate* – запутывать, маскировать) – процесс запутывания кода программы с целью затруднить возможность его