

аэродинамического качества составила около 10%, а комплексного параметра не более 1%, что в итоге позволило сформировать сходящиеся процессы коррекции и повысить точность наведения.

Список литературы

1. Балакин В.Л., Морозов Л.В. Алгоритмы формирования командного угла крена при входе в атмосферу космического аппарата с большим аэродинамическим качеством //Космические исследования. - 1979. - т.XVII, №6. - С.852-857.

2. Балакин В.Л., Морозов Л.В. Адаптивные алгоритмы управления спуском в атмосфере Земли космического аппарата с большим аэродинамическим качеством //Космические исследования. - 1981. - т.XIX, №3. - С.359-366.

Я.А.Мостовой

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕРОЯТНОСТИ ПРИСУТСТВИЯ ОШИБОК В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Вероятность проявления ошибок, имеющихся в программном обеспечении (ПО), падает по мере возрастания отлаженности программ. Известная гипотеза Желинского-Моранды /1/ связывает интенсивность проявления ошибок $\lambda = dn/dt$ с числом оставшихся ошибок, где n - количество обнаруженных ошибок.

Эта гипотеза внешне не имеет видимой связи с реальным физическим процессом отладки ПО, проводимым последовательно по различным вариантам работы ПО на различных наборах исходных данных. Однако, в рамках гипотезы Моранды существует возможность более адекватной интерпретации ее следствий.

Рассмотрим марковский процесс типа чистого размножения (рис.) (гибели) с конечным числом состояний N_0 , для которого интенсивность переходов из состояния в состояние не является величиной постоянной, а является функцией состояния.

Математическое ожидание для числа проявившихся (обнаруженных) ошибок может быть записано как

$$M(t) = \sum_{n=0}^{N_0} n P_n(t). \quad (4)$$

После соответствующих преобразований имеем выражение для математического ожидания числа обнаруженных (проявившихся) ошибок

$$M = N_0(1 - e^{-kt}). \quad (5)$$

Аналогичным образом может быть получено выражение для дисперсии числа обнаруженных ошибок

$$D = N_0 e^{-kt}(1 - e^{-kt}). \quad (6)$$

Выражения (3,5,6) по форме соответствуют выражениям для независимых последовательных испытаний по схеме Бернулли /2/ с вероятностью успеха в одном испытании, определяемом выражением

$$P = 1 - e^{-kt}.$$

На основании выражений (3,5,6) могут быть решены важные практические задачи. Так, например, из (3) имеем вероятность обнаружения всех N_0 ошибок

$$P_{N_0} = (1 - e^{-kt})^{N_0}.$$

Тогда вероятность наличия ошибок

$$Q = 1 - P = 1 - (1 - e^{-kt})^{N_0}.$$

Процесс отладки ПО содержит в себе два основных крупных этапа: этап автономной отладки и этап комплексной отладки. Эти этапы отличаются целями и задачами, инструментальными средствами и методами проведения отладки /3/. Соответственно и ошибки, обнаруживаемые при отладке, можно разделить на ошибки первого рода, обнаруживаемые при автономной отладке, и ошибки взаимодействия программ - ошибки второго рода, обнаруживаемые при комплексной отладке.

Считая, что ошибки и первого, и второго рода независимы и подвержены гипотезе Моранды, имеем

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

$$Q_1 = 1 - (1 - e^{-k_1(t_0 - t_2)})^{N_{01}}, \quad (7)$$

$$Q_2 = 1 - (1 - e^{-k_2 t_2})^{N_{02}}.$$

где Q , Q_1 , Q_2 - вероятность наличия ошибок соответственно после отладки, после автономной отладки и после комплексной отладки; N_{O1} , N_{O2} - начальное количество ошибок первого и второго рода в программном обеспечении; K_1 , K_2 - коэффициент пропорциональности в выражении для интенсивности проявления ошибок 1-го и 2-го рода (2); t_0 , t_1 - соответственно полное время отладки, время комплексной отладки.

Из анализа выражений (7) следует, что имеется такое значение времени комплексной отладки t_2 , которое при заданном времени t_0 , выделенном на отладку, обеспечивает минимум вероятности наличия необнаруженных ошибок в программном обеспечении.

Действительно, дифференцируя Q по t_2 , приравнивая производную 0 и обозначая $\alpha = t_2/t_0$, имеем для малых остаточных вероятностей наличия ошибок

$$\alpha \sim \left(\frac{K_1}{K_2} - \frac{1}{t_0 K_2} \ln \frac{N_{O1} K_1}{N_{O2} K_2} \right) \frac{1}{1 + K_1/K_2} .$$

По статистике ошибок для ряда разработанных больших управляющих комплексов определено α , значение которого равно 0,6 - 0,7. Этот результат соответствует экспериментальным данным по относительной длительности этапа комплексной отладки.

Другое важное применение выражения (3) связано с возможностью оценки вероятности проявления ошибки после передачи программного обеспечения в эксплуатацию. При этом параметры K и N_0 могут быть определены по результатам оперативной обработки статистики проявления ошибок в процессе отладки программ.

Список литературы

1. Майерс Г. Надежность программного обеспечения. - М.: Мир, 1980.
2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. - М.: Мир, 1967.
3. Липавев В.В. Тестирование программ. - М.: Радио и связь, 1986.