

УДК 681.3.06

М.И. Абрамский

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: abramsky@inbox.ru

ЭКСТРАПОЛЯЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ РАНДЕВУ НА ГРАФЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается экстраполяционный алгоритм рандеву в геоинформационной системе (ГИС), обладающий лучшей помехоустойчивостью, чем классический алгоритм погони, и меньшим средним временем до рандеву на ГИС. Приводятся результаты, полученные в ходе испытания алгоритма на программной имитационной модели.

Известно, что геоинформационные системы могут быть использованы в практических целях по двум основным направлениям [1]. Первое – это статическое отображение постоянной или редко меняющейся информации (например, мониторинг земельных или природных ресурсов, картографическая информация). Этот случай описывается моделью статических ГИС. Но существуют более сложные системы, которые описывают быстроменяющуюся ситуацию – системы оперативной обработки. Динамические ГИС характерны в первую очередь тем, что они позволяют рассматривать сколь угодно сложные информационные характеристики, связанные с ландшафтом [2].

Существует целый класс проблем, касающихся скорейшего рандеву. В основном, известные задачи [3] используют в качестве исходных данных непрерывное (континуальное) двумерное или трехмерное пространство и также непрерывные характеристики участвующих объектов. Такая постановка дает преследователю большие возможности для маневра, так как пространственно он ограничен только размерностью области [4].

Здесь рассматривается проблема скорейшего рандеву на графе ГИС *методом экстраполяционного преследования*. Граф ГИС задается с помощью характеристической матрицы R [2], информационные факторы геоинформационной системы [2] обновляются с частотой ϑ . На ГИС функционируют: искомый объект (ИО) и поисковая единица (ПЕ). Относительно ИО заданы: V – скоростью движения, скаляр; $S_{\text{но}} \in \{R\}$ – начальная вершина движения на графе R ; $E_{\text{но}} \in \{R\}$ – вершина назначения. Поисковая единица характеризуется следующими величинами: скоростью движения – U , $S_{\text{пе}} \in \{R\}$ – начальной вершиной движения на графе R . Процесс движения как ИО, так и ПЕ определяется как смена текущей вершины на графе R . Рандеву называется событие, при котором в один и тот же момент времени ИО и ПЕ находятся в одной вершине графа R . Общая схема рандеву описы-

вается алгоритмом поведения ПЕ для осуществления randevu, начальными характеристиками ИО и ПЕ, алгоритмом поведения ИО.

Возможно существование различных моделей randevu. Оценка эффективности алгоритма randevu в каждой схеме производится по критерию минимума времени до randevu. Важной характеристикой при описании алгоритма randevu является зависимость времени до randevu от заданной характеристики движения объекта или, иными словами, помехоустойчивость. Под помехоустойчивостью, в данном контексте, понимается способность алгоритма сохранять стабильное время до randevu при помехах со стороны искомого объекта (резкие изменения в направлении движения и т.п.). Распределение помехоустойчивости алгоритма по характеристикам движения помогает выбрать наиболее подходящий алгоритм randevu к конкретной задаче. В задаче о randevu возможны два исхода: randevu произошло и не произошло, т.е. ИО достиг вершины $E_{\text{ю}}$, не встретив на своем пути ПЕ. В данной работе описывается схема randevu с неклассическим алгоритмом поведения ПЕ – "экстраполяционным" алгоритмом. В качестве алгоритма поведения ИО принимается постоянное движение ИО в вершину графа R , инцидентную текущей, по дуге экстремального веса (минимальность или максимальность определяется смысловой нагрузкой весов дуг графа R). В траекторию движения ИО вносятся случайные шумы, или рассогласования. Рассогласование заключается в следующем: генерируется случайная величина, распределенная по равномерному закону в интервале от 0 до 1. Если величина больше 0,5, то ИО движется не по дуге экстремального веса, а по другой, определенной, дуге.

Произведем формальное описание условий задачи и критериев эффективности. Пусть t – время, за которое у ПЕ и ИО произойдет randevu. Оно равно ∞ , если randevu не произошло. Обозначим через P пройденный ИО путь до randevu, т.е. $P = \{p_i\}$, где $p_i \in R$ – дуги, входящие в путь, пройденный ИО. Через Ω обозначим расчетный путь, который должен был пройти ИО, двигаясь только по дугам экстремального веса, $\Omega = \{\omega_i\}$, где $\omega_i \in R$ – дуги, входящие в расчетный путь для ИО. Определим формулы для вычисления эмпирической величины Z "характеристики движения", ее еще можно назвать величиной рассогласования. Это величина, определяемая как композиция трех величин: отклонения D от прогнозируемой траектории (количество вершин, не входящих в оптимальную траекторию, через которые прошел ИО), значение величины равно мощности множества $\Psi = P \oplus (P \cap \Omega)$; количество N хаотичных перемещений, т.е. переходов в заведомо худшую вершину; замедления в движении. Последнее численно характеризуется коэффициентом замедления B – безразмерным скаляром

$$B = \frac{L}{t} \cdot \frac{1}{V}, \quad (1) \quad 1 \backslash$$

где L – длина пройденного пути P :

$$L = \sum_{i \in P} l(p_i) \quad (2)$$

и $l(p_i)$ – длина дуги p_i .

Так как система неинерционна и рассматриваются математические объекты, то снижение скорости движения ИО представляется неоправданным, поэтому эта величина отнесена к составляющим. С учетом (1) и (2) формула для величины рассогласования Z примет вид:

$$Z = B + N + D. \quad (3)$$

Определим коэффициент помехоустойчивости K как отношение величины рассогласования (3) ко времени до рандеву:

$$K = \frac{Z}{t}. \quad (4)$$

В принципе, в качестве критерия оценки характеристики движения можно выбрать и другую величину, но, поскольку нам важно не абсолютное, а сравнительное значение коэффициента помехоустойчивости для разных видов движения, то мы можем использовать формулу (3) в качестве оценки рассогласования движения. Основная задача каждого алгоритма поведения ПЕ состоит в сведении t к минимуму в заданной схеме рандеву, т.е. в заданной области $Z \leq X$, где X – предельно допустимое значение рассогласования. Это задача математического программирования, где целевой функцией является $t(Z)$, а ограничением – $Z \leq X$.

Обобщенная блок-схема алгоритма изображена на рисунке 1.

Алгоритмическое решение задачи представлено ниже. Основными действиями алгоритма являются следующие.

1. Вычисляется оптимальный путь движения для ИО и априорно предполагается, что объект будет двигаться по вычисленному маршруту.

2. ПЕ вычисляет вершину на расчетном маршруте в которой рандеву произойдет через минимальное время, предполагая, что ИО будет двигаться по расчетному пути.

3. С заданной частотой ϑ производится обновление характеристического графа R (что может повлиять, во-первых, на расчетный маршрут для ИО, во-вторых, на поведение самого ИО).

4. С выбранной частотой μ выполняются пункты 1, 2, что позволяет постоянно координировать движение ПЕ. В дополнение к 1, оптимальный путь на последующих шагах может учитывать маршрут, уже пройденный ИО. Вторая задача относительно сложна и в данной работе рассматриваться не будет.

Под "ближайшей точкой" в алгоритме понимается следующее. Пусть $\Lambda = \{\lambda_i\}$, где λ_i – вершины графа R , входящие в расчетный маршрут ИО, пусть k, m – вершины графа R , в которых в данный момент находятся ПЕ и

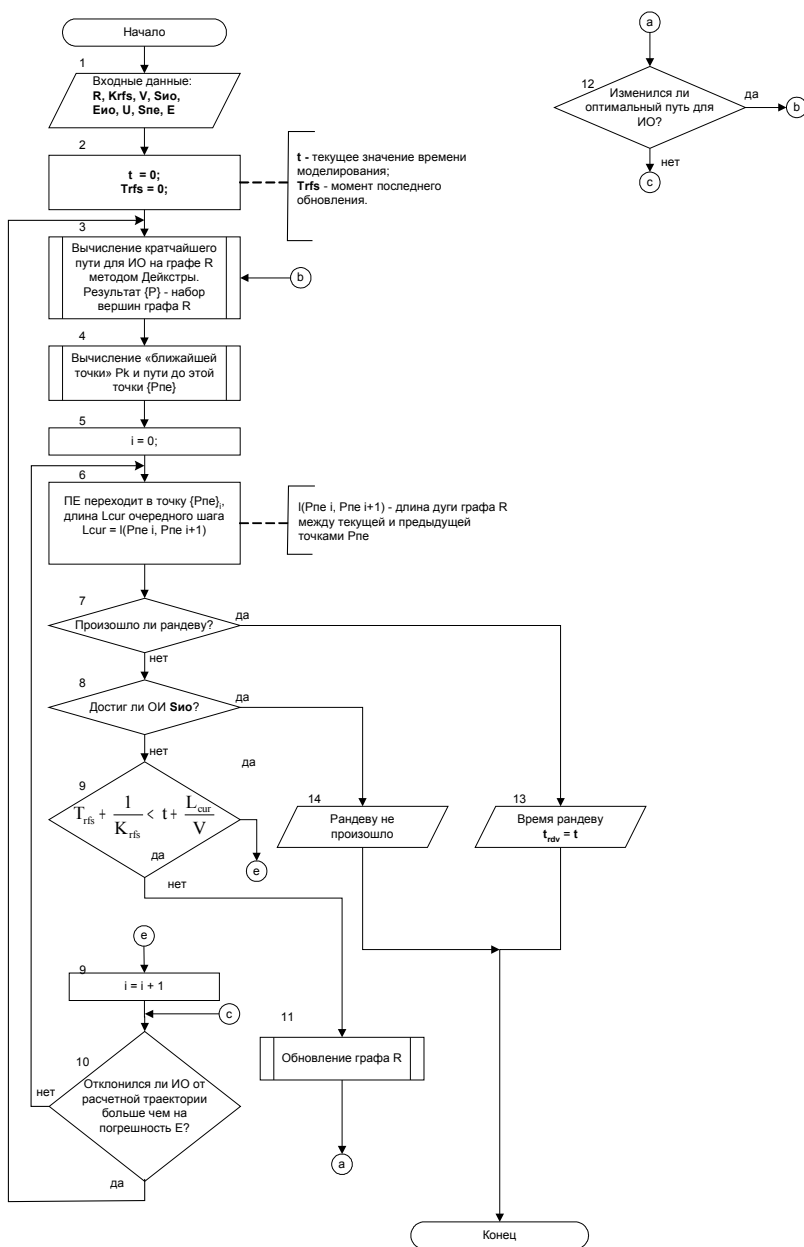


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма рандеву методом экстраполяции на ГИС

ИО соответственно. Для каждой вершины λ_i из расчетного маршрута ИО производится поиск кратчайших путей S_i и H_i , с помощью процедуры, условно обозначенной функцией Δ :

$$S_i = \Delta(\lambda_i, k), \quad (5)$$

$$H_i = \Delta(\lambda_i, m). \quad (6)$$

Исходя из текущего положения ПЕ и множества Λ , строится и запоминается длина каждого пути в векторе $\{S_i\}$ по (5).

3. С заданной частотой ϑ производится обновление характеристического графа R (что может повлиять, во-первых, на расчетный маршрут для ИО, во-вторых, на поведение самого ИО).

4. С выбранной частотой μ выполняются пункты 1, 2, что позволяет постоянно координировать движение ПЕ. В дополнение к 1, оптимальный путь на последующих шагах может учитывать маршрут, уже пройденный ИО. Вторая задача относительно сложна и в данной работе рассматриваться не будет.

Под "ближайшей точкой" в алгоритме понимается следующее. Пусть $\Lambda = \{\lambda_i\}$, где λ_i – вершины графа R , входящие в расчетный маршрут ИО, пусть k, m – вершины графа R , в которых в данный момент находятся ПЕ и ИО соответственно. Для каждой вершины λ_i из расчетного маршрута ИО производится поиск кратчайших путей S_i и H_i , с помощью процедуры, условно обозначенной функцией Δ :

$$S_i = \Delta(\lambda_i, k), \quad (5)$$

$$H_i = \Delta(\lambda_i, m). \quad (6)$$

Исходя из текущего положения ПЕ и множества Λ , строится и запоминается длина каждого пути в векторе $\{S_i\}$ по (5).

Далее оценивается время ξ_i , за которое ПЕ достигнет заданной вершины, по формуле:

$$\xi_i = \frac{S_i}{U}. \quad (7)$$

Затем с учетом (6) вычисляется, за какое время θ_i той же вершины достигнет ИО,

$$\theta_i = \frac{H_i}{V}. \quad (6)$$

После расчета времени достижения ИО каждой из вершин, последние ранжируются в порядке возрастания ξ_i .

Далее с учетом (7) и (8) выбирается вершина по критерию

$$T = \min_i \xi_i$$

при условии

$$\theta_i < \xi_i.$$

Эта вершина и называется "ближайшей".

Для того чтобы оценить величину D – отклонение ИО от расчетного маршрута, при выходе из блока 10 БСА в блок 3 необходимо производить увеличение на единицу величины, которая формирует D . В случае, если отклонение ИО от расчетного маршрута происходит вследствие изменения характеристического графа ГИС, но при пересчете оказывается, что ИО находится на вновь рассчитанном оптимальном маршруте, то на количество переходов в худшую вершину это изменение положения ИО не влияет, в противном случае величина N должна быть увеличена на единицу.

Для оценки преимущества экстраполяционного алгоритма перед классическими была создана имитационная модель, с помощью которой были оценены характеристики эффективности для следующих тестовых графов ГИС:

- 1) симметричный граф "звезда" с 6 вершинами;
- 2) случайный граф с 200 вершинами и случайными весами дуг;
- 3) граф "прямоугольная сетка" – простая дискретизация непрерывной модели, 600 вершин в графе (сетка 20×30 вершин).

Поведение ИО описывалось двумя основными типами имитационных моделей:

- А) движение строго по расчетным траекториям ($D=0$);
- В) рассогласованное движение вследствие случайных отклонений.

В течение работы алгоритма с задаваемой частотой ϑ для имитации динамической обстановки на ГИС производилось изменение весов 10% дуг в графе случайным образом.

Также производилось сравнение с классическим алгоритмом погони [3].

Таблица 1 – Результаты программного эксперимента

Вид графа	Тип имитационной модели	Время до рандеву, квантов		Оценка Z характеристики движения	Коэффициент помехоустойчивости	
		экстраполяционный алгоритм	алгоритм погони		экстраполяционный алгоритм	алгоритм погони
1	А	3	4	0	-	-
1	В	4	6	6,26	1,565	1,043
2	А	51	73	0	-	-
2	В	63	75	17,33	0,275	0,231
3	А	78	91	0	-	-
3	В	90	100	28,14	0,313	0,281

В таблице 1 приведена сводная сравнительная информация времени до рандеву и коэффициентов помехоустойчивости для двух рассматриваемых алгоритмов.

Одним из основных приложений данного алгоритма является, конечно, рандеву на местности. В этом виде метод был использован в "Много-

функциональной системе охраны, мониторинга и телеметрического анализа (SMART GLOBE)" фирмы ООО "NAVICOM", г. Севастополь [2].

Другим интересным, на наш взгляд, применением алгоритма является использование его для обеспечения антивирусной безопасности в больших ЛВС.

Полученный экстраполяционный алгоритм дает рекомендации решения задач рандеву в дискретном пространстве в отличие от классических, решающих данную задачу в непрерывной области. Метод требует больших вычислительных затрат по сравнению с классическими методами рандеву, но и результаты работы получаются лучше. Так, например, при проведении описанных выше исследований, было выявлено, что в среднем алгоритм работает на 10...20% быстрее классических алгоритмов. В дальнейшем, планируется оценить аналитически преимущества экстраполяционного алгоритма на графе ГИС над классическими методами погони и "параллельного сближения".

Библиографический список

1. Васюхин М.И. Анализ принципов построения геоинформационных систем / М.И. Васюхин, М.И. Синяков // Управляющие системы и машины. — 1996. — № 1/2. — С. 64–68.
2. Кирюхин В.В. Применение графовых моделей в работе геоинформационных систем / В.В. Кирюхин, М.И. Абрамский // «Инфотех-2002»: Матер. междунар. науч.-практ. конф., Севастополь, сентябрь 2002 г. — Севастополь, 2002. — С. 30–32.
3. Ким Д.П. Методы поиска и преследования подвижных объектов / Д.П. Ким. — М.: Наука. 1989. — 336 с.
4. Петросян Л.А. Преследование на плоскости / Л.А. Петросян, Б.Б. Рихсиев. — М.: Наука. 1991. — С. 29–33.

Поступила в редакцию 19.10.2003 г.