

УДК 629.7

АППРОКСИМАЦИЯ ДЛИНЫ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА И ПОЛОЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

С.В. КОРЕВАНОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Логвиным А.И.

Рассмотрены проблемы аппроксимации и математического анализа полетов беспилотных летательных аппаратов с помощью нейронных математических моделей.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, траектория полета, нейросетевые системы.

Для того чтобы упростить процедуру определения длины траектории полета между двумя пунктами маршрута, предлагается аппроксимировать ее с помощью классической многослойной нейронной сети. Задача аппроксимации длины траектории полета состоит в том, чтобы, обладая информацией о текущем расположении беспилотного летящего аппарата (БЛА) и пункте маршрута, в который предполагается дальнейший полет (далее по тексту рассматриваемый пункт маршрута - РПМ), учитывая динамические свойства объекта, оценить, возможен ли такой маневр и насколько он эффективен в отношении расхода топлива, длины траектории подлета к РПМ и последующего полета.

Кроме определения длины траектории полета к РПМ, необходимо также оценить положение БЛА по прибытии его в РПМ, т.к. траектория полета зависит не от конкретных координат РПМ и текущего положения БЛА, а от разности угла курса на РПМ и угла курса самого БЛА (назовем эту разность ошибкой по курсу), а также от расстояния между ними.

Предлагается данную задачу решить путем рассмотрения нейронной сети, которая в данном случае имеет следующую архитектуру (рис. 1):

1. На два входных нейрона последовательно подаются два сигнала: ошибка по курсу - $\Delta\Psi$ и расстояние между БЛА и РПМ - $L_{пр}$.

2. Нейроны слоя Кахонена образуют одномерную цепочку $1 \dots N$.

3. Сеть обучается с помощью алгоритма обратного распространения ошибки, обучение подробно описано в работе [1].

4. На выходе два выходных патрона - длина траектории полета к этому РПМ ($L_{лин}$), а также угол курса БЛА по прибытии его в РПМ ($\Psi_{пр}$).

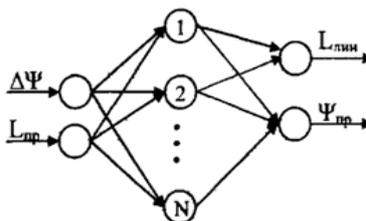


Рис. 1. Нейронная сеть, аппроксимирующая длину траектории движения БЛА

Для решения поставленной задачи аппроксимации было промоделировано 120 различных расположений БЛА и РПМ. Примеры для обучения, а также сопутствующая им информация составляли план обучения (табл. 1).

Здесь $\Delta\Psi$ - ошибка по курсу; L_{np} - длина прямолинейного маршрута (евклидово расстояние между пунктами); $L_{дин}$ - длина траектории, полученная в результате моделирования динамики БЛА; $\Psi_{пр}$ - угол курса БЛА по прибытии его в РПМ; t - время полета по траектории.

По результатам обучения нейронной сети был выбран вариант с $N=10$ нейронами в скрытом слое. Нейроны скрытого слоя - с сигмоидальной функцией активации, выходного слоя - линейной функции активации, алгоритм обучения - алгоритм обратного распространения ошибки Левенберга-Макгуарда [1]. Весовые коэффициенты и смещения обученной нейронной сети представлены в табл. 2 с учетом нормирования входных и выходных сигналов.

Таблица 1

Обучающая выборка для нейронной сети

№	Входные сигналы нейронной структуры		Выходные сигналы нейронной структуры (для обучения)		Информационные сигналы			
	$\Delta\Psi, ^\circ$	$L_{np}, м$	$L_{дин}, м$	$\Psi_{пр}, ^\circ$	$\Delta L = L_{np} - L_{дин}, м$	$t, с$	Координаты РПМ	
							$X, м$	$Y, м$
1	165,23	125,15	385,96	238,67	260,81	12,51	-121,02	31,897
2	156,64	453,66	638,42	176	184,75	20,94	-416,49	179,86
3	107,97	316,13	402,15	132,8	86,019	12,94	-97,538	300,7
4	73,897	458,08	488,77	83,86	30,689	15,95	127,06	440,11
5	22,167	301,64	303,09	27,221	1,4438	9,72	279,35	113,81

По результатам тестирования нейронной сети на 20 примерах, не участвовавших в обучении, было определено, что погрешность в оценке длины траектории с помощью нейронной сети не превышает 3,93 м, погрешность в определении угла $\Psi_{БЛА}$ – 2,52.

Таблица 2

Характеристики обученной нейронной сети

Нейрон $\Delta\Psi, ^\circ$ нейроны скрытого слоя	Нейрон $L_{дин}, м$ нейроны скрытого слоя	Выходной нейрон $\Psi_{пр}, ^\circ$ нейроны скрытого слоя	Выходной нейрон $L_{np}, м$ нейроны скрытого слоя	Смещения нейронов скрытого слоя	Смещения нейронов выходного слоя
1,2873	0,90468	15,832	48,536	0,58785	$\Psi_{БЛА} - 0,7807^\circ$
0,52966	3,845	0,043969	0,077456	1,4928	$L - 0,1446 м$
1,236	0,94831	33,884	98,606	0,5358	
0,3133	0,69528	12,033	9,6193	0,25071	
1,1681	0,1646	0,3775	0,38149	1,0472	
0,90052	1,7389	14,697	29,195	1,8223	
0,30037	0,6389	14,113	10,643	0,22888	
0,93168	1,739	14,36	28,519	1,8477	
0,013133	12,091	0,021692	0,25764	12,108	

Обученная нейронная сеть позволяет определить длину траектории полета между двумя пунктами маршрута. Процедура определения длины всего маршрута наглядно изображена на рис. 2.

После определения длины траектории между двумя пунктами маршрута L_{np} с помощью нейронной сети, которая описана выше, $(A_i \text{ и } A_{i+1})$ создается новая система координат $X_{i+1} A_{i+1} Y_{i+1}$, в которой для следующего пункта маршрута A_{i+2} определяются два входных параметра для нейронной сети: ошибка по курсу (на рис. 2 $\Psi_{u \ i+2}$) и длина прямолинейного маршрута L_{i+2} . Процедура определения угла $\Psi_{u \ i+2}$ и координат пункта A_{i+2} в системе координат $X_{i+1} A_{i+1} Y_{i+1}$ схематично изображена на рис. 3.

Для аппроксимации длины траектории необходимо определить Ψ_{i+2} , L_{i+2} . Эти параметры можно определить следующим образом:

$$\Psi_{БЛА i+2} = \Psi_{БЛА i+1} + \Psi_{БЛА i3}; \Delta X = X_{\psi i+23} - X_{\psi i+13}; \Delta Y = Y_{\psi i+23} - Y_{\psi i+13};$$

$$L_{i+2} = \Delta X^2 + \Delta Y^2.$$

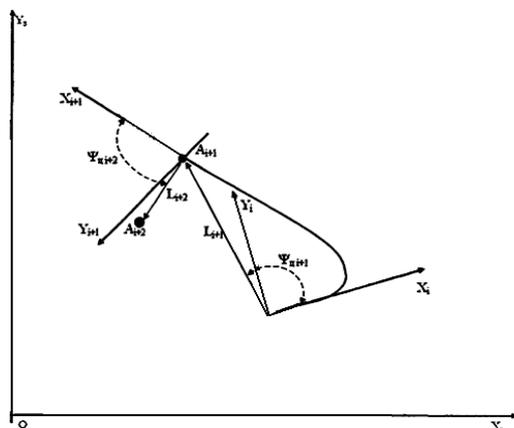


Рис. 2. Определение общей длины маршрута

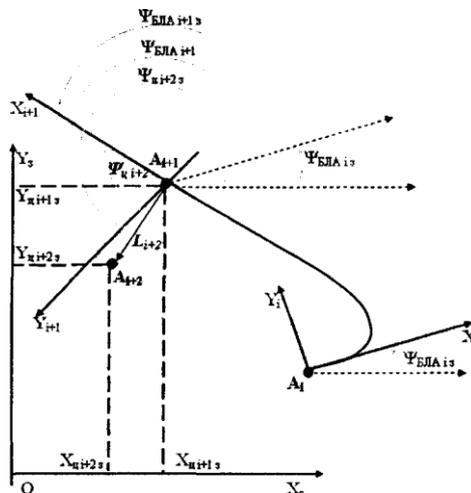


Рис. 3. Определение положения ЛА

После этого нейронная сеть определяет динамическую длину маршрута между пунктами A_{i+1} и A_{i+2} , которая, суммируясь со всеми предшествующими длинами траекторий перелетов между двумя пунктами, образует общую длину маршрута $L_{i+2}^2 = \Delta X^2 + \Delta Y^2$.

Применение нейросетевых моделей позволяет при значительном снижении временных затрат получить хорошие субоптимальные решения без потери точности и при увеличении длительности расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев Г.Н. Самообучающиеся иерархические нейроструктуры управления полетом: труды 1-й Российской мультikonференции по проблемам управления (РМКПУ-2006), 2006.
2. Бродский В.З. Введение в факторное планирование эксперимента. - М.: Наука, 1976.
3. Лебедев Г.Н. Интеллектуальные системы управления и их обучение с помощью методов оптимизации: учеб. пособие. - М: МАИ, 2002.

APPROXIMATION OF FLIGHT PATH LENGTH AND CONDITIONS UNMANNED AERIAL VEHICLES WITH NEURAL NETWORKS

Korevanov S.V.

The article considers the problems of mathematical approximation and analysis of flights on unmanned aerial vehicles with the help of neural mathematic models.

Keywords: unmanned aerial vehicles, flight path, the neural network system.

Сведения об авторе

Кореванов Степан Владимирович, 1988 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов - беспилотные летательные аппараты, нейросетевые системы, эксплуатация радионавигационных систем.