

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННО - ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕ- НИЯ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

к.т.н. И.А. Кашаев, А.А Подорожняк
(представил д.т.н., проф. А.В. Полярус)

Предлагается подход к построению системы навигационно - временного обеспечения в виде децентрализованной структуры и метод ее оптимизации на основе генетических алгоритмов.

Современные технологии подготовки и ведения вооруженной борьбы не могут быть реализованы без использования космических навигационных систем (КНС). Навигационное обеспечение рассматривается как один из видов боевого обеспечения. Создание на территории Украины дифференциальной подсистемы (ДПС) навигационно-временного обеспечения (НВО), позволит удовлетворить требования различных потребителей [1]. ДПС обеспечит повышение точности, устойчивости, целостности и непрерывности навигационно - временных определений на территории Украины при решении задач обеспечения безопасности государства, возложенных на Министерство обороны и другие ведомства.

В состав ДПС входят наземная контрольно - корректирующая станция (ККС) и бортовые устройства потребителей. Средства ККС включают аппаратуру потребителей для накопления измерений и фильтрации погрешностей, аппаратуру формирования и передачи дифференциальных корректирующих поправок (ДКП) и сигналов целостности. На борту пользователей размещается аппаратура потребителя, предусматривающая возможность приема ДКП.

При построении системы НВО возможны два альтернативных варианта: централизованный и децентрализованный. При выборе варианта построения ДПС учитывается военно - административное деление территории государства. В Украине три оперативных командования, которые являются постоянными оперативно-стратегическими объединениями, предназначенными для выполнения в мирное и военное время оперативных, мобилизационных задач и задач территориальной обороны в установленных для них границах, а также для всех видов обеспечения войск (сил), которые находятся на их территории.

Предлагается децентрализованное построение системы НВО Вооруженных Сил Украины из трех региональных подсистем с возможностью объединения в единую систему, интегрированную в общегосударственную. При таком построении система НВО будет представлять иерархическую сетевую

структуру, на верхнем уровне которой находится единый центр контроля и обработки (центральная ККС), далее – региональные ККС оперативных командований, затем – локальные ДПС, а на нижнем уровне – средства потребителей. Региональные ДПС могут состоять из одной или нескольких ККС.

Перспективным подходом при синтезе оптимальной структуры системы НВО является применение генетических алгоритмов (ГА), для эффективного использования которых необходимо на основе разработанной модели системы определить ее целевую функцию. Так как навигационные расчеты должны проводиться параллельно с контролем целостности навигационного поля, модель функционирования ДПС целесообразно разделить на модель измерений и модель контроля целостности навигационного поля. Целевая функция также должна учитывать стоимость системы и возможный доход от ее использования.

Рассмотрим модель измерений дифференциальной подсистемы навигационно-временного обеспечения. Основными погрешностями при определении псевдодальности являются погрешности эфемеридной информации, частотно-временных поправок, ошибки за счет шумов приемников и внешних помех, многолучевости и особенностей распространения радиоволн в тропосфере и ионосфере. В региональной i -й ККС производится оценка эфемеридной ошибки $\Delta\hat{r}_i$, ухода часов \hat{b}_i , вертикальной ионосферной ошибки в заданной точке зоны обслуживания сети \hat{I}_i и оценка региональной поправки \hat{x}_i , определяемой по оценкам псевдодальностей в КС с использованием известной модели ионосферы [2]:

$$\left(\Delta\hat{r}_i, \Delta\hat{b}_i, \Delta\hat{I}_i\right) \in \hat{x}_i, \quad (1)$$

а также вычисляется ковариационная матрица ошибок

$$P_i = E \left[(x - \hat{x}_i) (x - \hat{x}_i)^T \right]. \quad (2)$$

Региональные подсистемы могут быть объединены в единую систему с помощью центральной ККС, которая выполняет функцию объединения региональных оценок \hat{x}_i и P_i и вычисляет ковариационную матрицу ошибок для всей системы $P_{\text{сист.}}$, определяет и выдает общесистемные оценки ДКП $\hat{x}_{\text{сист}}$ потребителям [3]:

$$P_{\text{сист.}} = \text{inv} \left(\text{inv}(P_1) + \text{inv}(P_2) + \dots + \text{inv}(P_N) \right); \quad (3)$$

$$\hat{x}_{\text{сист.}} = P_{\text{сист.}} \left[\text{inv}(P_1) \hat{x}_1 + \dots + \text{inv}(P_N) \hat{x}_N \right]. \quad (4)$$

Целостность является показателем надежности навигационного обеспечения, ее мерой является вероятность выявления отказа (недостовверного навигационного сигнала) в течение времени равного или меньшего заданного. Так, для обеспечения требований к целостности наземных потребителей при выполнении специальных задач [1] необходимо чтобы уровень вероятности выявления отказа в системе был не ниже чем

0,9, за время 15-30 сек.

Нарушение целостности может возникать за счет отказов в бортовой аппаратуре НКА и при возникновении аномальных явлений при распространении сигнала в ионосфере. Контроль целостности проводится с использованием алгоритмов на основе методов статистической теории принятия решений [1].

Показатель, оценивающий затраты на построение системы, должен учитывать стоимость оборудования КС, ККС и аппаратуры пользователей. Целевая функция может быть представлена в виде

$$F_{\text{ДПС}}(\mathbf{n}) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^K P_{ij} [D_j f_{\text{точн.}} + f_{\text{цел.}}] - f_{\text{ст}}(\mathbf{n}), \quad (5)$$

где \mathbf{n} - количество используемых КС и ККС; M - количество районов, в которых производится контроль точности и целостности; K - количество учитываемых классов потребителей в оцениваемых районах; P_{ij} - количество потребителей j - го класса в i - м районе; D_j - определяет требования к точности j - го класса потребителей; $f_{\text{точн.}}$ - характеристика точности ДПС, зависящая от корреляционной матрицы ошибок (2), (3); $f_{\text{цел.}}$ - характеристика целостности ДПС; $f_{\text{ст}}(\mathbf{n})$ - характеристика стоимости ДПС.

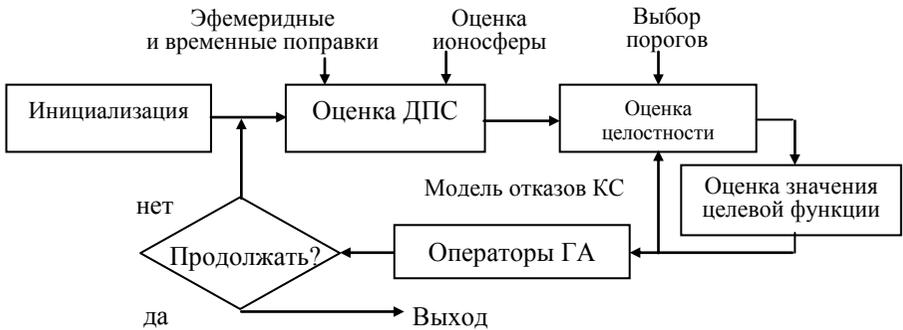


Рис. 1. Алгоритм построения дифференциальной подсистемы навигационно - временного обеспечения

Функция $F_{\text{ДПС}}(\mathbf{n})$ имеет сложную нелинейную зависимость от числа и положения КС и ККС, поэтому предлагается применить ГА (рис. 1) [4]. На подготовительном этапе определяется максимально возможное количество КС и ККС и их местоположение. Количество станций определяет размер хромосомы особи (возможной реализации ДПС) - количество разрядов в строке, состоящей из 0 и 1. Каждому положению цифры в строке соответствует определенная станция в сети. Значение цифры равно 0 или 1, соответствует отсутствию или наличию данной станции в выбранной реализации ДПС. На этапе инициализации формируется популяция из N вариантов построения ДПС, которые получаются путем

заполнения разрядов строки хромосомы 0 и 1 случайным образом. Для этих реализаций ДПС вычисляются значения $F_{\text{ДПС}}(\mathbf{n})$. Для получения новых особей в популяции применяются операторы ГА (мутация, кроссовер и инверсия (рис. 2)) к выбранной родительской группе (вероятность попадания в родительскую группу зависит от величины $F_{\text{ДПС}}(\mathbf{n})$). Полученные потомки замещают особи с меньшим значением $F_{\text{ДПС}}(\mathbf{n})$. Процесс повторяется итерационно до выполнения условия останова алгоритма. Таким условием является отсутствие улучшения свойств получаемых потомков или уменьшение их разнообразия. На выход поступает реализация ДПС с наилучшим значением целевой функции.

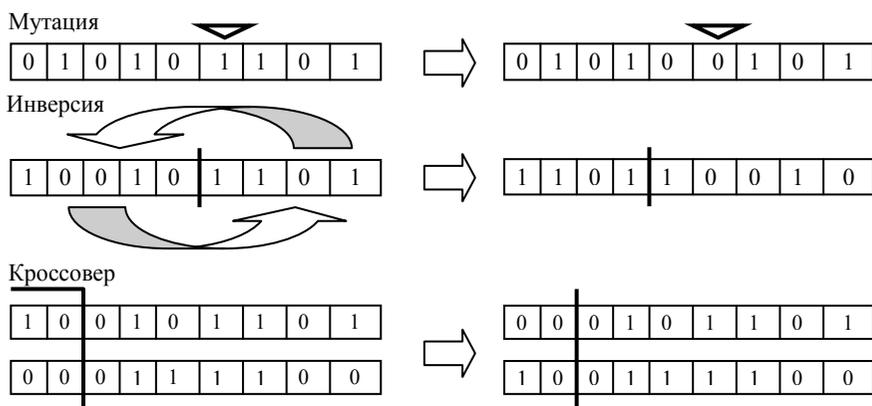


Рис. 2. Применение основных генетических операторов

Таким образом, предложен подход к построению дифференциальной подсистемы навигационного обеспечения с учетом характеристик ее элементов. Это позволит оптимизировать затраты на построение такой системы при фиксированных районах размещения различных групп потребителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 267 с.
2. Pullen S., Enge P., Parkinson B. A New Method for Coverage Analysis for the Wide Area Augmentation System (WAAS) // Proc. of ION 51st Annual Meeting, Colorado Springs, CO., June 5-7, 1995. – P. 501 - 513.
3. Kee C., Ryong C. A solution of a natural way to implement WADGPS in East Asia: decentralized WADGPS // Proceeding of ION GPS-99, 14-17 September 1999, Nashville, TN. – P. 211 - 220.
4. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. – Addison - Wesley, 1989. – 412 p.

Поступила 27.03.2002

КАШАЕВ Игорь Александрович, канд. техн. наук, доцент, докторант ХВУ. В 1978 го-

ду окончил ХВВКИУ. Область научных интересов – навигационно - временные системы.

ПОДОРОЖНЯК Андрей Алексеевич, адъюнкт ХВУ. В 1988 году окончил ХВВАУРЭ.
Область научных интересов – нейросетевые и эволюционные технологии.
