

УДК 007.51:007.3+004.896

*Работа поддержана Минобрнауки РФ в рамках реализации базовой части госзадания 2014/174 на выполнение НИР (проект № 2336)*

## **ПРИНЦИПЫ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПОДВИЖНОГО АППАРАТА\***

**Пьявченко А.О.**

К.т.н., доцент, Южный федеральный университет

**Барков Е.В.**

Ведущий инженер, ООО "СиБОСС девелопмент интернейшнл"

**Иванов Г.Л.**

Магистрант, Южный федеральный университет

*В статье сформулированы принципы построения и предложена структурная организация стратегического уровня иерархической системы планирования поведения РПА в условиях частичной неопределенности на маршруте движения аппарата. Предложенный набор принципов объединяет возможности современных средств доставки, обработки и визуализации информации, характеризующей состояние РПА и внешней среды, в фиксированные моменты времени и на детерминированных временных промежутках.*

*Рассмотрены особенности поэтапной разработки программных средств стратегического уровня с постепенным повышением степени интеллектуализации на примере диспетчерской системы планирования перемещения подвижного аппарата, сетевой инфраструктуры системы позиционирования, которая основана на беспроводной технологии ZigBee. Выделены основные программные компоненты, разработка которых должна быть осуществлена в первую очередь.*

**Ключевые слова:** иерархическая система планирования поведения, стратегический уровень, структурная организация, принципы построения, роботизированный подвижный аппарат, первая очередь разработки системы.

**Введение.** Современные бортовые навигаторы управляемых вручную РПА обеспечивают решение задачи планирования пути в условиях априори известного картографического представления о местности, в условиях действующих ограничений о направлении и скорости движения, а также с учетом текущей обстановки на всей протяженности следования аппарата. Такие системы выдают рекомендации оператору по достижению предварительно поставленной цели. Как правило, в эти рекомендации входят автоматически рассчитанный маршрут движения с привязкой к конкретным координатам с учетом действующих ограничений движения, значение рекомендованной средней скорости, а также расчетное время прибытия в конечную точку маршрута. К сожалению, такие системы, как правило, полностью автономны по отношению к текущему состоянию агрегатов движущегося средства и предлагают самому оператору выбирать режим движения исходя из текущей обстановки, имеющегося запаса топлива и значения его среднего расхода на единицу измерения пути [1].

---

\* Работа поддержана Минобрнауки РФ в рамках реализации базовой части госзадания 2014/174 на выполнение НИР (проект № 2336)

В случае автономного РПА, предназначенного для решения задач своевременной и безопасной доставки различных грузов в пределах промышленных объектов, имеющих значительную территориальную протяженность, его «навигатор» (в дальнейшем, иерархическая система планирования поведения (ИСПП)), как правило, состоит из двух подсистем: бортовой и базовой (внешней, стационарной), взаимодействие которых производится через беспроводной канал связи. Если бортовая подсистема планирования автономно принимает решение «по ситуации» с учетом ближайших целей движения, текущего пространственного позиционирования РПА, состояния внешней обстановки и агрегатов аппарата, то базовая подсистема решает иные, более крупные и менее динамичные по времени задачи, больше влияющие на стратегию, чем на тактику поведения аппарата в пространстве и во времени. Как показывает выполненный анализ литературных источников, на настоящий момент времени отсутствует единый подход к построению базовой подсистемы ИСПП РПА. Изложенный ниже материал является попыткой авторов обобщить системное представление разработчиков о стратегическом уровне ИСПП РПА в части решаемых им задач, его принципов построения и структурной организации, а также наметить пути практического создания перспективного прототипа диспетчерской части ИСПП.

**Проблематика, этапы, решаемые задачи на стратегическом уровне планирования.** Проблематика стратегического уровня ИСПП РПА *в условиях решения задачи планирования движения* заключается в нахождении оптимального соотношения между протяженностью найденного маршрута перемещения РПА от исходной до целевой точки, включая промежуточные, с учетом ограничений на время прибытия, среднего расхода потребляемых ресурсов, обеспечением заданного уровня безопасности [2]. При этом под *миссией* РПА предлагается понимать «намерение» аппарата перемещаться в направлении поставленных оператором целей с учетом расставленных приоритетов [3]. В качестве *цели* рассматривается конкретизация миссии перемещения аппарата в форме набора числовых значений, доступных системе управления аппаратом. При этом любая цель, должна обладать свойствами конкретности, измеримости, адресности и контролируемости с привязкой к временной метке службы времени; обладать непротиворечивостью и согласованностью с запасами энергоресурсов аппарата.

Сам процесс стратегического планирования перемещения аппарата, как правило, состоит из нескольких последовательно выполняемых этапов [2]:

1. Определение содержания миссии, ее конечной и промежуточных целей;
2. Анализ среды заданного района перемещения РПА, включающий в себя предварительный и оперативный сбор и анализ информации о ней, а также прогноз изменения параметров среды на период выполнения миссии;
3. Задание ресурсных ограничений на выполнение миссии РПА;
4. Выбор, а при необходимости, и синтез стратегии перемещения аппарата;
5. Реализация стратегии с применением навигационных алгоритмов с учетом данных расхода ресурсов энергообеспечения аппарата в зависимости от требуемых режимов перемещения, от текущих и прогнозируемых данных состояния среды заданного района;
6. Оценка стратегии методами математического и имитационного моделирования в плане достижимости поставленной цели при заданных уровнях безопасности ее реализации и заданном уровне запасов энергоресурсов;
7. Контроль выполнения выбранной стратегии с возможностью внесения корректировок в миссию аппарата в случае возникновения непредвиденных ситуаций.

С учетом вышесказанного отметим следующие основные функциональные задачи, решение которых, на наш взгляд, следует предоставить стратегическому уровню перспективной ИСПП РПА:

- поддержка режима интерактивной подготовки миссии РПА оператором с заданием временных и стоимостных требований, требований по обеспечению безопасности перемещения с учетом геоинформационной карты заданного района перемещений;
- прогнозное планирование миссии аппарата (решение траекторной задачи), с использованием классических алгоритмов навигационной прокладки маршрута перемещения РПА при учете перечисленных выше требований и установленных энергетических, временных, динамических и кинематических ограничений в условиях неполной информации об обстановке на заданном курсе;
- предварительное математическое и имитационное моделирование поведения аппарата в требуемом масштабе времени, включая реакцию на различные ситуации;
- загрузка миссии в бортовую часть ИСПП РПА на начальном этапе, и в случае перепланирования миссии с учетом новых данных как о состоянии самого аппарата, так и о состоянии окружающей его обстановки;
- контроль за ходом исполнения аппаратом заданной миссии и уровнем ее безопасности как в процессе имитационного моделирования, так и в ходе ее физической реализации;
- разрешение конфликтных ситуаций, которые не могут быть решены на подчиненных уровнях системы;
- отслеживание попадания аппарата в локальный минимум, поиск пути выхода из локального минимума с учетом сложившейся ситуации, принятие соответствующего решения по корректировке миссии в автоматическом, полуавтоматическом или ручном режиме;
- выполнение соответствующей корректировки значений параметров недостижимых контрольных точек миссии в соответствии с заданными критериями (перепланировка размещения, перерасчет контрольных сроков прибытия РПА в соответствующие пункты с учетом запаса хода, кинематических и динамических свойств аппарата, целей и задач текущей миссии);
- проведение предстартовых и регламентных проверок, дистанционного функционального фонового контроля состояния подсистем подчиненного уровня планирования перемещения РПА;
- управление режимами работы ИСПП и конфигурацией ее ресурсов.

**Принципы построения.** Иерархическую систему планирования поведения РПА, ее стратегический уровень, предполагается строить на принципах мультирежимности, интерактивной постепенной интеллектуализации, поддержки единого системного времени, мультипоточной параллельно-конвейерной обработки, поддержки открытой полимодульной мультиклиентсерверной архитектуры, всеобъемлющего визуального контроля, реконфигурируемости и подчиненности ресурсообеспечения, стандартизации и унификации межмодульных интерфейсов.

При этом реализация *принципа мультирежимности* применительно к ИСПП предполагает поддержку:

- режима математического, имитационного, а при необходимости и полунатурного моделирования аппарата в реальном и ускоренном масштабах времени;
- режима интерактивного построения и редактирования миссии с учетом вводимых или поступающих от аппарата данных о его пространственном позиционировании, о бортовых запасах энергоресурсов, о возможностях движительной установки РПА;
- режимов контроля хода исполнения миссии, а именно, оперативный и расширенный контроль, включая текущие дистанции до зон обнаруживаемых опасностей;
- режима удаленного тест-мониторинга с визуализацией состояния агрегатов и систем аппарата на консоли оператора базовой станции с возможностью покомпонентной удаленной, в том числе и функциональной проверки бортовых систем с целью учета состояния их работоспособности, например, в процессе перепланирования миссии.

*Принцип единого времени* в иерархических системах планирования и управления перемещением РПА предполагает наличие распределенной службы единого системного времени, интегрированной в базовую и бортовые составляющие этих систем с целью детерминированного учета процессов запаздывания поступления команд и данных на исполнение и обработку в соответствующие службы ИСПП.

*Принцип интерактивной постепенной интеллектуализации процесса планирования* предполагает наличие интеллектуальной подсистемы поиска энергоэффективного решения на основе интерактивно синтезируемой и постоянно обновляемой базы знаний о возникающих непредвиденных событиях и предпринятых вариантах причинно-следственной реакции на них. Если на начальном этапе функционирования задача формирования и пополнения такой базы знаний – это, в основном, задача оператора, осуществляющего автоматизированное выборочное включение в базу успешных решений, то затем, по истечении некоторого периода эксплуатации ИСПП, процесс обновления и накопления знаний должен становиться все более автоматическим [4].

Реализация принципа мультипоточной параллельно-конвейерной обработки данных в реальном масштабе времени подразумевает эффективную интеграцию архитектур современных многоядерных процессоров, их мультипоточных операционных систем и программно-аппаратных параллельно-конвейерных видеоресурсов из состава современных вычислительных комплексов бортового применения.

*Принцип поддержки, открытой полимодульной мультиклиентсерверной архитектуры* подразумевает наличие нескольких, как правило, виртуально создаваемых серверов с возможностью подключения процессов, ориентированных на решение конкретных функциональных задач и использующих структуры данных, аккумулируемые конкретным сервером. Такие задачи как: пополнения базы данных о текущей обстановке без нарушения целостности ее структуры; обновления базы знаний о конфликтных ситуациях и путях выхода из них; анализа сенсорных данных и принятие решения о путях дальнейшей реализации миссии; расчета пространственной траектории выполнения миссии как на основе ранее полученного опыта, так и на основе накопленных данных о текущей обстановке, о действующих в заданном районе возмущениях и угрозах безопасному перемещению аппарата; фонового удаленного контроля и тест-мониторинга состояния узлов и агрегатов РПА [1], и т.п.

Полимодульное построение архитектуры также предполагает наращивание функциональных возможностей ИСПП путем включения в обработку новых разнородных функциональных модулей без нарушения целостности, существующих в системе информационных потоков [5]. Причем сами модули в зависимости от требуемого соотношения производительность/энергозатраты могут иметь или программное, или аппаратное, или комбинированное исполнение. Такой подход обеспечивает возможность построения виртуального сервера знаний с подключением аппаратных ускорителей ассоциативного поиска и обработки информации, включая генерацию необходимых решений за счет использования, например, продукционной логики. Очевидно, что эффективная реализация полимодульной архитектуры невозможна без использования на уровне взаимодействующих аппаратно-программных средств *принципа стандартизации и унификации межмодульных интерфейсов*.

**Структурная организация стратегического уровня ИСПП РПА и практическая реализация ее диспетчерской части.** На рис. 1 представлена

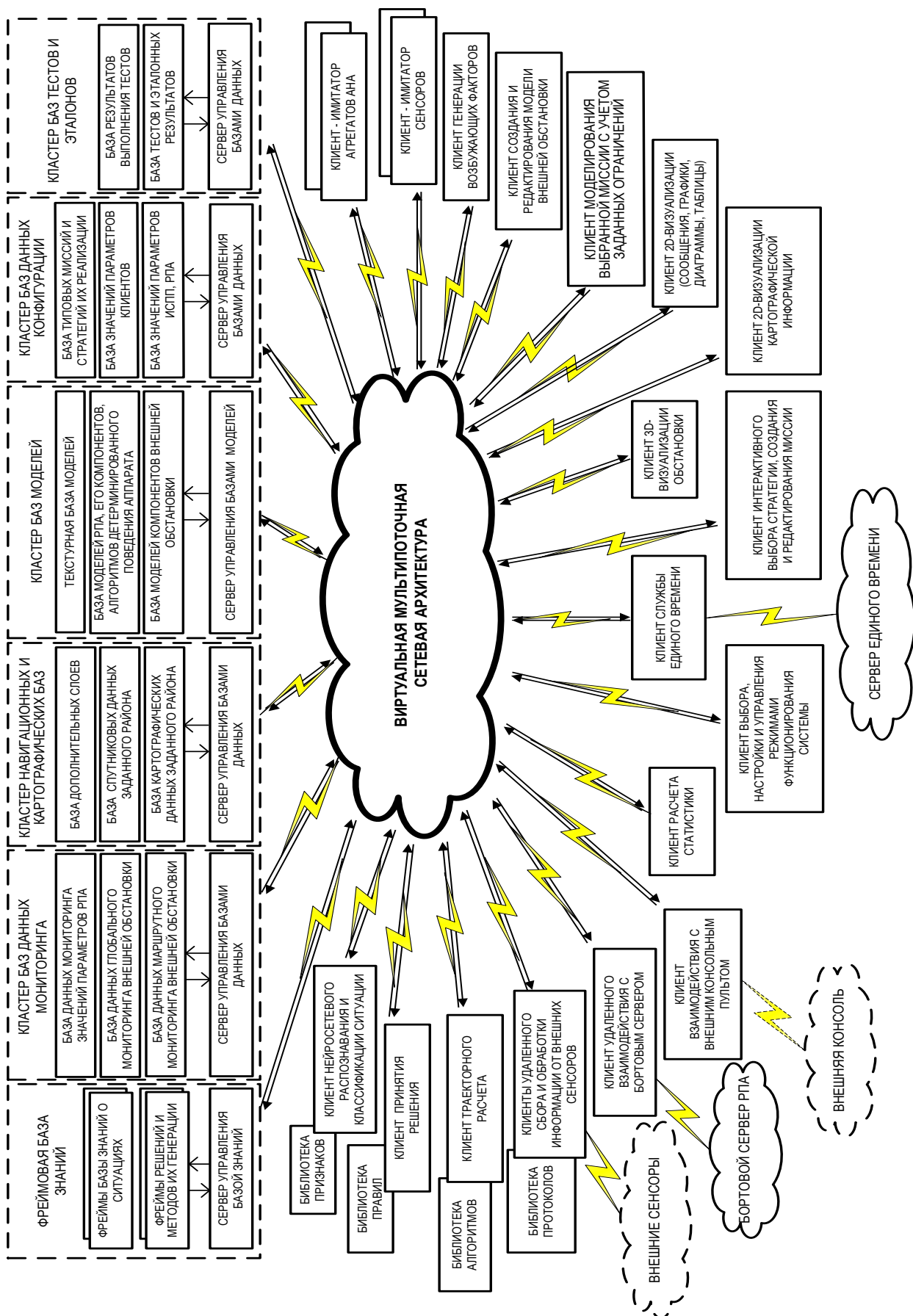


Рис.1. Структурная организация стратегического уровня перспективной ИСПП

структурная организация стратегического уровня ИСПП РПА, в основу которой положены сформулированные выше принципы.

В качестве сетевой инфраструктуры планируется использование беспроводной ячеистой сенсорной сети ZigBee 2007 Specification [6], предусматривающей защиту данных. Именно на основе сети ZigBee предполагается создание сетевой локальной системы позиционирования РПА в реальном времени с точностью позиционирования до 1 м и возможностью передачи данных по протоколу, совместимому с NMEA-0183 [7], на реальной скорости от 5 до 40 кбит/с в зависимости от условий установки сетевых приемопередатчиков (узлов). Здесь предполагается, что радиометка встроена в бортовой комплекс РПА и постоянно находится в зоне действия не менее трех сетевых узлов. Для позиционирования будут применяться технологии CSS (Chirp Spread Spectrum) и SDS-TWR (Symmetrical Double-Sided Two Way Ranging), которые основаны на измерении времени распространения радиосигнала от передатчика к приемнику (time of flight), и соответствуют международным стандартам ISO 24730-5 [8] и IEEE 802.15.4-2011 [9] соответственно.

На первом этапе разработки в условиях отсутствия интеллектуальной составляющей все программное обеспечение стратегического уровня диспетчерской части ИСПП может быть логически разбито на отдельные программные компоненты (под номерами 1, 2, 3 и 4), общие библиотечные модули, а также четыре сильно-связанных кластера баз данных (см. рис. 2). Так, например, кластер навигационных и картографических баз данных предполагает хранение и учет спутниковых/аэрофотоснимков местности, рисованной карты в цифровом растровом виде, а также дополнительных слоев карты, соответствующих обнаруженным препятствиям. Следовательно, после обработки существующая план-схема представляет собой двумерную сетку числовых значений, на плоскость которой математически спроецированы пространственные данные текущего состояния поверхности территории. При этом учитываются как сам тип проходимости поверхности (вода, песок, грунт, асфальт и т.п.), так и амплитудные значения данных о неровностях рельефа местности в каждом конкретном квадрате территории [10]. Точность представления таких данных в каждой ячейке сетки и соответствующая ей ограниченная площадь рельефа может быть интерактивно задана оператором исходя из конкретного размера, как самой территории, габаритного размера используемого РПА, так и ресурсных возможностей вычислительного комплекса, на котором предполагается развертывание диспетчерской части ИСПП. Причем сам шаг сетки задается оператором и может иметь как постоянное, так и переменное значение.

Кластер баз данных [11] мониторинга предназначен для накопления информации о состоянии значений контролируемых параметров каждого из действующих на территории РПА, о маршрутах перемещения аппаратов, о результатах маршрутного мониторинга внешней обстановки. Следует отметить, что для каждого информационного пакета, полученного из сети, сохраняются временные метки, синхронизированные службой единого времени со всеми клиентами.

Кластер данных конфигурации предназначен для хранения таких конфигурационных настроек, как информация о доступных пользователю РПА, их уникальных идентификаторах; об уровне логирования (тип информации и частота занесения её в БД мониторинга); о настройках отображения параметров (сохранённые размеры, положения диалоговых окон, конфигурация меню и т.п.); о системных профильных настройках текущей полимодульной конфигурации системы в целом.

Кластер базы моделей предназначен для размещения структурных, математических (аналитических) и имитационных моделей РПА, его компонентов, а также моделей внешней обстановки, включая модели протекающих в ней стационарных и динамических процессов, упрощенные модели препятствий, и т.п.

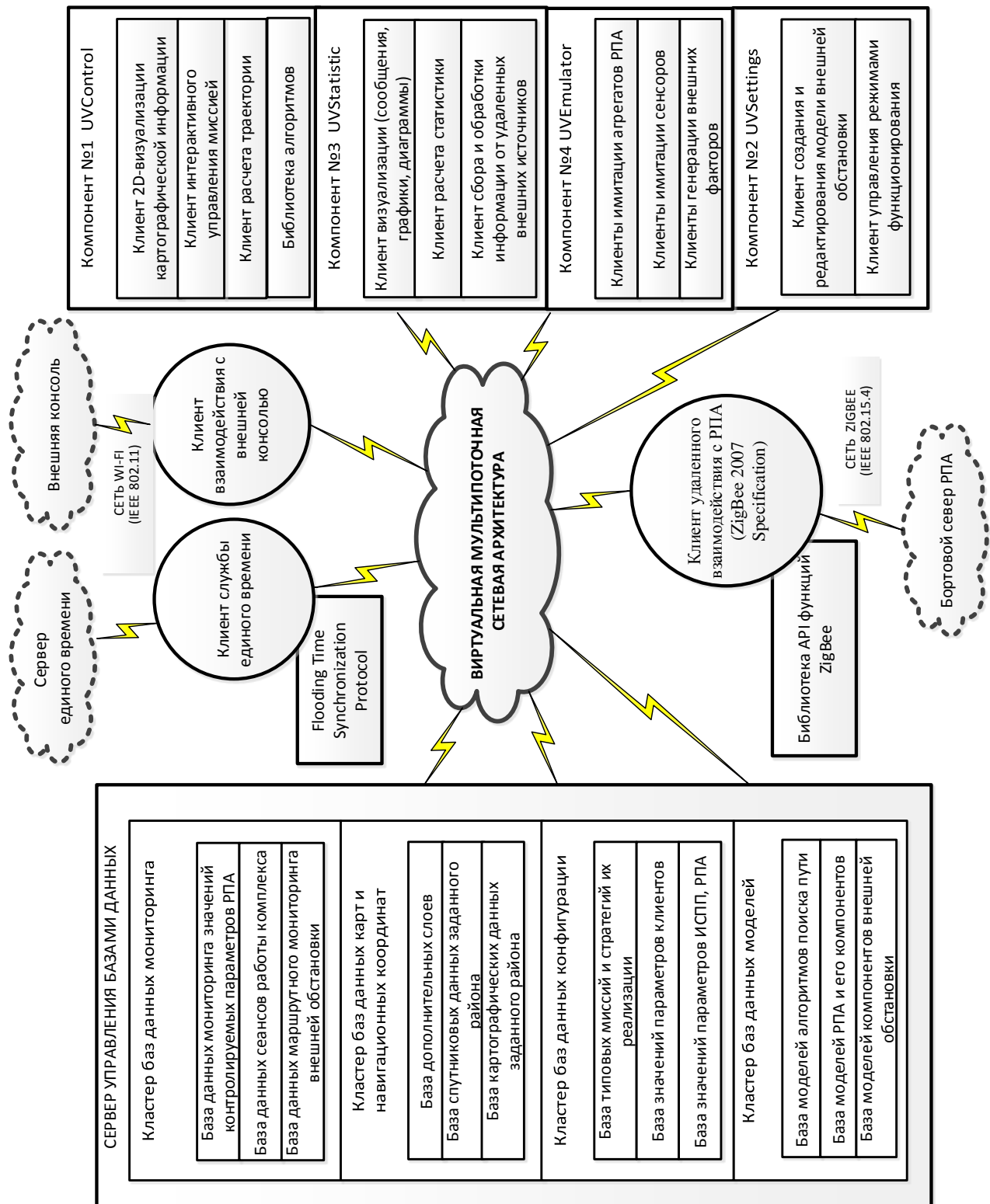


Рис.2. Структурная организация стратегического уровня первой очереди диспетчерской части иерархической системы планирования перемещений РПА

Клиент службы единого времени из состава общих библиотек предполагается разработать на основе Flooding Time Synchronization Protocol (FTSP) [12]. Этот протокол был разработан для сенсорных сетей спецификации ZigBee с учётом как наличия большого количества сенсоров в сети, так и вероятного изменения топологии сети в процессе ее работы. Последнее особенно важно в условиях использования мобильного РПА и для повышения устойчивости сети к отказам отдельных узлов. Следует отметить, что в FTSP один из сетевых узлов назначается корневым, отвечающим за вещание глобального времени остальным узлам-клиентам [13].

Программный компонент №1 (UVControl) является основным приложением, обеспечивающим взаимодействие пользователя с РПА с применением парольной защиты. Компонент поддерживает интерактивные режимы: редактирования и архивации миссии аппарата; выбора или создания стратегии ее реализации; траекторный расчет перемещения РПА в условиях действующих ограничений; визуализации с изменяемым уровнем детализации карты местности с отображением текущих координат и параметров движения активных РПА, построенных маршрутов и обнаруженных непроходимых препятствий во время их перемещения. Так, в разрабатываемой версии клиента траекторного расчёта нахождение пути от РПА к цели миссии осуществляется по направленному взвешенному графу, поставленному в соответствие рассмотренной ранее двумерной сетке с коэффициентами проходимости как с соответствующими функциями стоимости [14]. В качестве основного алгоритма поиска пути на стратегическом уровне используется «модифицированный A\*» [15, 16].

В программный компонент №2 (UVSettings) входят клиенты выбора, настройки и управления режимами функционирования системы, а также создания и редактирования моделей внешней обстановки. Компонент позволяет редактировать (изменять) используемую карту, ее структуру, информацию о РПА и обнаруженных препятствиях, параметры их внешнего вида; задавать значения параметров подчиненных клиентов (например, клиента траекторного расчёта).

Программный компонент №3 (UVStatistic) предназначен для сбора, расчета и отображения (визуализации) данных текущего сеанса работы системы в реальном времени. Компонент обеспечивает сбор данных от сенсоров, на территории миссии и установленных на самих РПА. Компонент ведет протоколирование работы системы, а также расчет статистики, включая расчет значений таких показателей, как средняя скорость перемещения РПА, средний расход его батареи, время достижения цели, точность позиционирования и качество доставки груза; обеспечивает загрузку данных прошлых сеансов из БД мониторинга и сохранение текущего сеанса в ней; отображает в удобном для пользователя представлении рассчитанные показатели работы за заданный период времени.

Программный компонент №4 (UVEmulator) представляет собой программный комплекс, предназначенный для эмуляции исполняемой миссии аппарата в соответствии с заданной стратегией в требуемом масштабе времени; для эмуляции РПА, его сенсорных подсистем, включая математические и/или имитационные модели как РПА в целом, так и отдельных его компонентов (агрегатов); для эмуляции препятствий, других возмущающих факторов [17,18].

Работа находится на стадии технического предложения. Основные упомянутые выше программные компоненты предполагается реализовать на языке C++. Разработка графической части пользовательского интерфейса ведется с помощью языков C# и Java, опираясь на стандарты ГОСТ Р ИСО 9241-11-2010, ГОСТ Р 6385-2007 и технологию аналитической обработки данных в онлайн-режиме (OLAP) [19]. При этом большое внимание уделяется поэтапному тестированию разрабатываемого программного кода с использованием технологии Test Driven Development (TDD) [20] с целью повышения его надежности.



**Заключение.** Сформулированные выше принципы построения и предложенная структурная организация стратегического уровня перспективной ИСПП РПА позволяют создать в ближайшей перспективе развиваемую платформу программных средств диспетчерского уровня, отличающуюся функционально-распределенной реконфигурируемой высокопроизводительной архитектурой, событийной визуализацией, адаптивностью к изменению условий применения и эксплуатации, устойчивостью к сбоям и отказам, а также возможностью саморазвития в направлении повышения уровня эффективности решения целевых задач. Как ожидается, в случае комплексной программно-аппаратной реализации ИСПП РПА, стратегического уровня в частности, и последующего внедрения системы повысится в разы эффективность управления перемещением грузов в рамках территориально распределенного предприятия за счет оптимизации существующих маршрутов движения в условиях оперативного отслеживания маршрутной обстановки; автоматической сортировки и уплотнения грузопотока; учета пропускных способностей, как самого грузополучателя, так и подъездов к нему; предсказания и недопущения аварийных ситуаций, вызванных, например, столкновением транспортных средств или текущим состоянием дорожного полотна.

### Литература

1. Koichi Nagaki Evolution of In-Car Navigation Systems // Handbook of Intelligent Vehicles. Springer. 2012. P. 463-487.
2. Пьявченко А.О., Иванов Г.Л. Организация стратегического уровня системы планирования перемещения автономного необитаемого аппарата // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАиУ-2014): сборник трудов XII Всероссийской научн. конф. мол. ученых, аспирантов и студентов. (Таганрог, 18-19 декабря 2014 г.). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – Т.1. – С.145-154.
3. Чинь Суан Лонг Интеллектуальное планирование перемещения мобильного робота в неизвестной среде // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – Спец. выпуск. – С. 140-143.
4. Чинь Суан Лонг Методы построения интеллектуальных систем планирования перемещения мобильного робота в неизвестной среде: Автореферат дисс. канд. техн. наук. (Спец. 05.02.05: Роботы, мехатроника и робототехнические системы.). – Новочеркасск: Издательство ЮРГТУ (НПИ), 2010. – 24 с.
5. Guzik V.Ph., Chernukhin Yu.V., Pyavchenko A.O., Pereverzev V.A., Saprykin R.V. Principles of structural organization of the intellectual movement planning system for mobile robotic object // Advances in Robotics, Mechatronics and Circuits. Proceedings of the 2014 International Conference on Mechatronics and Robotics, Structural Analysis (MEROSTA 2014). Santorini Island. Greece. 2014. P. 223-227.
6. ZigBee Specification. ZigBee Document 053474r17. January 17. 2008. ZigBee Alliance. URL: [http://contech.suv.ac.kr/contech/courses/11h2wsn1\\_053474r17ZB\\_TSC-ZigBee-Specification.pdf](http://contech.suv.ac.kr/contech/courses/11h2wsn1_053474r17ZB_TSC-ZigBee-Specification.pdf) (Дата обращения: 20.03.2015).
7. Publications and Standards from the National Marine Electronics Association (NMEA) / NMEA 0183. NMEA. November 2008. URL: [http://www.nmea.org/content/nmea\\_standards/nmea\\_0183\\_v\\_410.asp](http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp) (Дата обращения: 04.03.2015).
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 24730-5-2014. Информационные технологии. Системы позиционирования в реальном времени (RTLS). Часть 5. Радиointерфейс расширения спектра методом линейной частотной модуляции (CSS) для связи на частоте 2,4 ГГц. URL: [http://standartgost.ru/g/ГОСТ\\_Р\\_ИСО/МЭК\\_24730-5-2014#page-1](http://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_ИСО/МЭК_24730-5-2014#page-1) (Дата обращения: 04.03.2015).

9. IEEE 802.15.4-2011 – IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). URL: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4-2011.html> (Дата обращения: 04.03.2015).
10. F. Markus Jönsson An optimal pathfinder for vehicles in real-world digital terrain maps // The Royal Institute of Science. School of Engineering Physics. Stockholm. Sweden. 1997. URL: [http://cs.mipt.ru/docs/comp/rus/programming/algorithms/tree\\_station/rpathfin.htm](http://cs.mipt.ru/docs/comp/rus/programming/algorithms/tree_station/rpathfin.htm) (Перев. с англ. С.Ю. Анисимов 1998 г., Дата обращения: 23.03.2015).
11. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных (англ.: Introduction to Database Systems). – 8-е изд. – М.: Вильямс, 2005.
12. Maroti M., Kusy B., Simon G., and Ledeczi A. The Flooding Time Synchronization Protocol // Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys '04). P. 39-49.
13. Ferrari P., Flammini A., Marioli D., Sisinni E., Taroni A. Non invasive Time Synchronization for ZigBee Wireless Sensor Networks // International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication Ann Arbor, Michigan, September 22-26, 2008. URL: [http://www.eecis.udel.edu/~mismith/papers/ferrari\\_noninvasive.pdf](http://www.eecis.udel.edu/~mismith/papers/ferrari_noninvasive.pdf) (Дата обращения: 20.03.2015).
14. Ferguson D., Likhachev M., Stentz A. A Guide to Heuristic-based Path Planning // School of Computer Science Carnegie Mellon University Pittsburgh. PA. USA. URL: [http://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/pub4/ferguson\\_david\\_2005\\_2/ferguson\\_david\\_2005\\_2.pdf](http://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub4/ferguson_david_2005_2/ferguson_david_2005_2.pdf) (Дата обращения: 20.03.2015).
15. Hart P. E., Nilsson N. J., Raphael B. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4 4 (2). 1968. P. 100-107.
16. Steven M. LaValle Planning algorithms // Cambridge University Press. 2006.
17. Кычкин А.В., Артемов С.А., Власов В.А. Модульная организация сенсорной и управляющей системы мобильной интеллектуальной платформы //Фундаментальные исследования, 2013. – № 10 – С. 2147-2152.
18. Боровик А.И., Наумов Л.А. Компонентно-ориентированная система управления АНПА ММТ-2012 // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. – № 3(152). – С.102-112.
19. Федоров Алексей, Елманова Наталия Введение в OLAP// URL: [http://kek.ksu.ru/EOS/DW/OLAP\\_Microsoft.pdf](http://kek.ksu.ru/EOS/DW/OLAP_Microsoft.pdf) (Дата обращения: 31.07.2015).
20. Бек К. Разработка через тестирование. Библиотека программиста.- СПб.:Питер, 2003.- 224 с.: ил. ISBN: 5-8046-0051-6.