

Интеграция топологий сети мобильной связи и навигации в интересах управления подвижными объектами

С.А. Якушенко¹, С.В. Дворников^{2*}

¹Санкт-Петербургский Государственный университет аэрокосмического приборостроения,

Санкт-Петербург, 190000, Российская Федерация

²Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,

Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация

*Адрес для переписки: practicsv@yandex.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 08.10.2020

Принята к публикации 12.11.2020

Ссылка для цитирования: Якушенко С.А., Дворников С.В. Интеграция топологий сети мобильной связи и навигации в интересах управления подвижными объектами // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 4. С. 60–68. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-4-60-68

Аннотация: Разработан подход совместного использования ресурса системы связи с подвижными объектами и локальной радионавигационной системы на основе интеграции их топологий по критерию электромагнитной доступности мобильных станций одновременно к нескольким базовым станциям сети. Данный подход может применяться при проектировании навигационно-связных комплексов и навигационной аппаратуры потребителя.

Ключевые слова: система мобильной связи, системы определения местоположения, электромагнитная доступность, интеграция систем навигации и связи.

Введение

Современные глобальные системы спутниковой навигации неустойчиво функционируют в городских условиях, при плохой радиовидимости спутников, в лесистой и горной местности [1–3]. Подобные проблемы обнаруживаются и в условиях внешних деструктивных электромагнитных воздействий (ЭМВ) [4–6]. Это связано с рядом причин, основная из которых характеризуется малым уровнем мощности сигналов на входе аппаратуры спутниковой навигации, излучаемых опорными станциями. Следствием этого является ухудшение показателей позиционирования и безопасности систем навигационного обеспечения (СНО) подвижных объектов управления [7–9]. Поэтому становится актуальным вопрос повышения показателей устойчивости и безопасности функционирования радионавигационной системы (РНС) [10–13].

Одним из путей совершенствования СНО является проектирование локальной РНС на основе ее телекоммуникационной сети связи с последующей интеграцией в глобальные системы спутниковой навигации [14]. Создание локальных РНС целесообразно проводить на основе уже существующих систем (сетей) мобильной связи, например, тран-

кинговой, так как значительно сокращаются материальные затраты СНО. Система мобильной связи с услугой позиционирования будет обладать новыми свойствами, которые определяются ее топологией [15]. Максимальный выигрыш от интеграции можно достичь, решив соответствующую задачу формирования совместной топологии связи и навигации. Для этого необходимо определить показатели, выбрать критерий решения задачи и разработать методику формирования совместной топологии систем мобильной связи и РНС. Этим вопросам и посвящена данная статья.

Критерий формирования топологии системы определения местоположения абонентов сети мобильной связи

В настоящее время существует широкий спектр подходов к выбору показателей топологии сетей связи и навигации [16–18]. Под топологией будем понимать геометрическую форму сети, т. е. физическое расположение базовых станций (вершин U) по отношению к друг другу и расстояния (длины ребер V) между ними. Из свойств топологии рассмотрим количество базовых станций, их взаимное расположение и пространственную метрику между ними и подвижными объектами [7].

Применительно к топологии системы определения местоположения в условиях деструктивных электромагнитных воздействий выделяется три основных показателя [1, 17, 18]: показатели доступности D , точности определения местоположения σ и стоимости ресурса сети C . Показатели систем мобильной связи и систем определения местоположения взаимозависимы через количество используемых базовых станций и пространственную метрику между ними, которые определяют D , σ и C . Поэтому критерием выбора топологии может быть достижение экстремума доступности $F(D) \rightarrow \max$ при ограничениях на точность и стоимость.

Топология систем мобильной связи с услугой позиционирования формируется для абонентов (подвижных объектов), распределенных по обслуживаемой территории произвольным образом. Тогда показатель стоимости ресурса систем мобильной связи будет, в основном, определяться стоимостью базовых станций:

$$C = MC_{\text{ос зад}}, \quad (1)$$

где M – количество базовых (опорных) станций; $C_{\text{ос зад}}$ – заданная стоимость одной базовой станции.

В качестве второго ограничения задачи целесообразно выбрать точность определения местоположения, которая численно вычисляется среднеквадратической погрешностью:

$$\sigma \leq \sigma_{\text{тр}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{тр}}$ – требуемое значение среднеквадратической погрешности определения местоположения подвижных объектов [17, 18].

Третье ограничение задачи заключается в выполнении условия покрытия рабочими зонами позиционирования заданной обслуживаемой территории:

$$K_{\text{п}} > K_{\text{п зад}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{п зад}}$ – заданное органами управления значение коэффициента покрытия рабочими зонами обслуживаемой территории; $K_{\text{п}}$ – расчетный коэффициент покрытия территории рабочими зонами [17, 18].

Показатели в ограничениях связаны с индексом доступности посредством параметров топологии сети навигации и связи (метрикой между базовыми станциями). Доступность и точность местоположения взаимосвязаны через геометрический фактор точности, который определяется количеством станций, их местоположением (x_i, y_i) и геометрией расположения подвижных объектов относительно этих станций [19]. Геометрический фактор точности имеет аналитическую взаимосвязь с инструментальной погрешностью РНС [17]. Очевидно, что стоимость и коэффициент покрытия также зависят от количества базовых станций. Таким образом, параметрами топологии сети явля-

ется количество опорных станций системы определения местоположения и их взаимное размещение на местности (пространственная метрика).

Показатель электромагнитной доступности подвижных объектов к базовым станциям отображает вероятность того, что в любое время в любой точке рабочей зоны система определения местоположения обеспечивает потребителя (подвижный объект) информацией, достаточной для определения координат с заданной точностью. Мерой доступности является выраженное в процентах отношение времени, в течение которого навигационные сигналы данной системы пригодны для определения местоположения, к общему времени работы системы. Тогда применительно к системам мобильной связи с услугой позиционирования электромагнитная доступность подвижного объекта к базовым станциям будет определяться варьируемыми параметрами топологии: количеством базовых (опорных) станций M ; координатами размещения опорных станций на заданной территории обслуживания подвижных объектов (x_i, y_i) ; геометрическим фактором системы $K_{\text{г}}$ при выполнении требований к точности определения местоположения.

С учетом вышесказанного и выражений (1, 2, 3) задачу выбора топологии систем мобильной связи с услугой позиционирования можно сформулировать следующим образом – для заданного ресурса системы мобильной связи требуется сформировать топологию системы определения местоположения с максимальной доступностью:

$$F(D) \rightarrow \max, \quad (4)$$

при следующих ограничениях:

$$C \leq MC_{\text{ос зад}}; \quad \sigma(K_{\text{г}}, M) \leq \sigma_{\text{тр}}; \quad K_{\text{п}}(M) > K_{\text{п зад}}, \quad (5)$$

где $M = \{M_1((x_1, y_1), M_2((x_2, y_2), \dots, M_m((x_m, y_m))\}$ – распределяемый ресурс базовых станций; $F(D)$ – целевая функция; X – вариант распределения станций.

В зависимости от заданного ресурса сети можно получить несколько вариантов интегрированной топологии сети связи и навигации. В этом случае задача решается в 2 этапа. На первом этапе определяется множество вариантов совместной топологии с $D_i > D_{\text{тр}}$, удовлетворяющие требованиям по точности определения местоположения подвижных объектов $\sigma < \sigma_i$ в заданной территориальной зоне, а на втором этапе выбирается лучший вариант по обобщенному показателю, для случая $C_i = C_{\text{мин}}^*$, на основе использования метода уступок [20].

Таким образом, выбранный критерий интегрированной топологии мобильной связи и навигации имеет взаимосвязь с наложенными на него ограничениями, что позволяет сформировать целевую функцию для определения доступности подвижных объектов к опорным станциям.

Методика формирования интегрированной топологии

Содержательная постановка задачи заключается в формировании наилучшей интегрированной топологии сети связи и навигации, с точки зрения показателя доступности подвижных объектов к радионавигационному полю, реализующей услуги позиционирования на основе ресурса сети связи с подвижными объектами. Под подвижными объектами в работе понимается любое транспортное средство, имеющее на борту совмещенный навигационно-связной терминал (навигационный приемник и мобильную радиостанцию), связанный по каналу управления и мониторинга системы навигационного обеспечения с должностными лицами органов управления. Подвижные объекты являются объектами управления системы навигационного обеспечения.

Имеется M базовых станций сети связи с подвижными объектами, образующих граф $G(U, V)$, где U – вершины графа (базовые станции); V – связи между базовыми и мобильными станциями. Каждая из них имеет блоки измерения навигационных параметров системы определения местоположения, реализующих один из методов определения местоположения координат. Задана территория позиционирования, ограниченная действиями подвижных объектов со сторонами прямоугольника a и b . Каждая базовая станция обслуживает пространственную зону, размеры которой R_i , $i = 1 \dots M$ зависят от тактико-технических характеристик мобильных терминалов подвижных объектов и базовых станций (мощности передатчика, коэффициента усиления антенны, чувствительности приемника и т. п.). Характеристики внешних деструктивных ЭМВ будем учитывать, как воздействие шумовой помехи, влияющей на отношение сигнал/шум на входе приемника.

Необходимо выбрать координаты базовых станций (x_i, y_i) и сформировать топологию системы определения местоположения, т. е. граф $G(U, V)$, обеспечивающий максимально возможные значения показателя доступности системы определения местоположения, при выполнении требований, предъявляемых к радионавигационным системам и системам мобильной связи.

Формальная постановка задачи сводится к поиску такого распределения базовых станций по заданной территории, (матрицы назначения станций $X = \{x_{qi}\}$), при котором целевая функция доступности $P_d = \max F(X_0)$ достигает максимального значения, где P_d – вероятность доступности подвижного объекта к опорным станциям.

Анализ требований к качеству каналов связи и радионавигации показывает, что требования к вероятности связи выше, чем к доступности мобильных станций к одной опорной станции [17, 21, 22]. Поэтому для выполнения требований к качеству связи в дальнейшем будем оперировать понятием вероятности связи или вероятности приема сигнала j -ой мобильной станций от i -ой опорной. Итак, доступность системы определения местоположения j -ой мобильной к i -ой опорной станции характеризуется параметром p_{ij} .

Сформулируем целевую функцию. Пусть событие вероятности приема сигнала мобильных станций – есть вероятность p , тогда вероятность неприема этой станции сигнала от опорной равна $q = 1 - p$. Пусть n – число требуемых для измерения навигационного параметра опорных станций, к которым может быть одновременный доступ мобильных станций, а m – общее число выделенных базовых станций (ресурс сети).

Из теории вероятностей [23] известно, что вероятность полных событий равна единице, т. е.:

$$p^m + mp^{m-1}(1-p) + C_m^{m-2}p^{m-2}(1-p)^m + \dots + C_m^n p^n (1-p)^{m-n} + \dots + (1-p)^n. \quad (6)$$

При использовании разностно-дальномерного метода определения местоположения необходимо осуществлять одновременный прием сигналов от трех опорных станций, что обеспечит размер рабочей зоны позиционирования, на которой выполняются требования по точности $\sigma_{мп} \geq \sigma_{мптр}$ [24]. Тогда вероятность одновременного приема не менее n радионавигационных сигналов от m опорных станций в одной точке, т. е. вероятность сложного события будет иметь вид [23, 25]:

$$p_{n,m} = \sum_n \left[\sum_{i_1=1}^{m-n+1} \sum_{i_2=i_1+1}^{m-n+2} \dots \sum_{i_n=i_{n-1}+1}^m \frac{p_{i_1} p_{i_2} \dots p_{i_n}}{q_{i_1} q_{i_2} \dots q_{i_n}} \prod_{j=1}^m q_j \right], \quad (7)$$

где p_i – вероятность приема сигнала от i -ой опорной станции; $q_i = 1 - p_i$ – вероятность неприема сигнала от i -ой станции.

Окончательно целевую функцию доступности для системы определения местоположения (4), где $p_i(x, y)$ – вероятность приема сигнала от i -ой опорной станции при нахождении мобильной станции в точке с координатами (x, y) ; $q_i(x, y)$ – вероятность неприема сигнала в этой точке; T_{xy} – количество точек сканирования в заданной зоне обслуживания, размером $a \times b$; (x, y) – координаты местоположения станций, можно записать в виде выражения:

$$F[(x, y), m] = \max_{[(x, y), n]} \left(\frac{1}{T_{xy}} \left(\sum_{k=1}^a \sum_{l=1}^b \sum_n \left[\sum_{i_1=1}^{m-n+1} \sum_{i_2=i_1+1}^{m-n+2} \dots \sum_{i_n=i_{n-1}+1}^m \frac{p_{i_1}(x, y) p_{i_2}(x, y) \dots p_{i_n}(x, y)}{q_{i_1}(x, y) q_{i_2}(x, y) \dots q_{i_n}(x, y)} \prod_{j=1}^m q_j(x, y) \right] \right) \right). \quad (8)$$

Условиями и ограничениями являются:

$$\begin{aligned} \sigma(M, K_r) &\geq \sigma_{\text{тр}}; \quad C(M) \leq C_{\text{зад}}; \quad S \leq S_{\text{зад}}; \\ m &\leq M_{\text{зад}}; \quad m, n \in \{M_{\text{зад}}\}, \quad K_n \geq K_{n \text{ зад}}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $\sigma(M)$ – ошибка измерения местоположения; $M_{\text{зад}}$ – заданное количество станций; $S = a \times b$ ($S_{\text{зад}}$) – площадь (заданная заказчиком) района позиционирования.

В целевой функции вероятность приема (неприема) сигнала зависит от отношения сигнал/шум на входе приемника и определяется первым уравнением передачи с учетом деструктивных ЭМВ [17]. Величина среднеквадратической погрешности определения местоположения равна произведению инструментальной погрешности навигационного параметра σ_n и геометрического фактора системы ($\sigma = \sigma_n K_r$). В свою очередь, геометрический фактор определяется пространственной метрикой топологии сети РНС (количеством базовых станций M и угловым положением мобильных станций относительно базовых, т. е. (x_i, y_i)). Инструментальная погрешность навигационного приемника зависит от отношения сигнал/шум на его входе, базы сигнала и времени измерения параметров. Количество точек сканирования T_{xy} – в заданной зоне обслуживания зависит от шага сканирования Δx и Δy по координатам (x, y) зоны. Шаг сканирования выбирается с учетом размерности и точность решения задачи [17, 21, 22]. Следовательно, показатель доступности в целевой функции (8) и параметры-ограничения (9) имеют взаимосвязь с параметрами топологии сети, тактико-техническими параметрами радиолиний навигации и связи параметрами. Таким образом, формализованная интерпретация постановки задачи следующая: требуется найти такое местоположение станций, чтобы максимизировать показатель доступности системы навигации при выполнении остальных требований и ограничений.

Классификация задачи и выбор метода ее решения

Изменяемыми параметрами целевой функции являются координаты опорной станции и их количество в сети. Целевая функция (8) сложная аддитивная, нелинейная и целочисленная. Задача (8, 9) относится к классу экстремальных поисковых задач, определяемому как класс нелинейных, дискретных с зависимыми переменными и неполной информацией [26–28]. Классические методы математического программирования в этом случае неэффективны из-за невозможности строгого математического описания целевой функции и ограничений.

Одним из методов решения подобного класса задач является метод последовательного анализа вариантов [29]. Для задач большой размерности поиск оптимального решения проводят методом ветвей и границ. Суть метода последовательного анализа вариантов заключается в следующем. По

определенному правилу генерируются все варианты топологий сети $\{St_i\}$. Количество возможных вариантов $\{St_{\text{зад}}\}$ ограничивается заданным ресурсом базовых станций, размером района обслуживания и коэффициентом покрытия [26]. Кроме того, количество структур топологии сети ограничивается тремя типами: равносторонним треугольником, квадратом и правильным шестиугольником (гексогоном). Данные структуры имеют максимальное значение коэффициента покрытия $K_n(M)^T$ заданной территориальной зоны $S = a \times b$. Далее каждый вариант топологии сети оценивается значением целевой функции (доступностью P_d) и рядом параметров-ограничений. Оценка вариантов осуществляется с помощью имитационного моделирования с использованием метода сканирования [28]. После рассмотрения всех вариантов производится выбор наилучшего варианта интегрированной топологии сети связи и навигации с использованием обобщенного показателя [27].



Рис. 1. Алгоритм решения оптимизационной задачи

Fig. 1. Algorithm for Solving the Optimization Problem

На рисунке 1 представлен алгоритм решения задачи методом последовательного анализа возможных вариантов топологии сети путем определения показателя доступности P_d (8) на основе расчета достоверности каналов связи к каждой станции (здесь же учитываются внешние деструктивные ЭМВ); точности определения местоположения σ ; коэффициента покрытия территории зоны позиционирования K_p и проверки ограничений: соответствие рассчитанных значений показателей требуемым. На заключительном этапе определяется наилучший вариант топологии сети, обеспечивающий максимальную доступность при заданном ресурсе связи и ограничениях на показатели системы.

Достоинством данного алгоритма является простота и возможность точного получения наилуч-

шего решения. Такой подход является предпочтительнее в случае выбора систем мобильной связи с услугой позиционирования, поскольку множество возможных вариантов ограничено. Точность метода целиком и полностью определяется шагом сканирования зоны обслуживания и полнотой множества вариантов структуры систем мобильной связи.

Результаты формирования интегрированной топологии сети мобильной связи и навигации

Формирование интегрированной топологии системы связи и навигации осуществлялось по единым исходным данным, что позволило определить наилучшую систему по критерию «эффективность-стоимость» [17]. Количество вариантов определялось градациями ограничений. В результате получено 4 варианта топологий системы определения местоположения, которые представлены на рисунке 2.

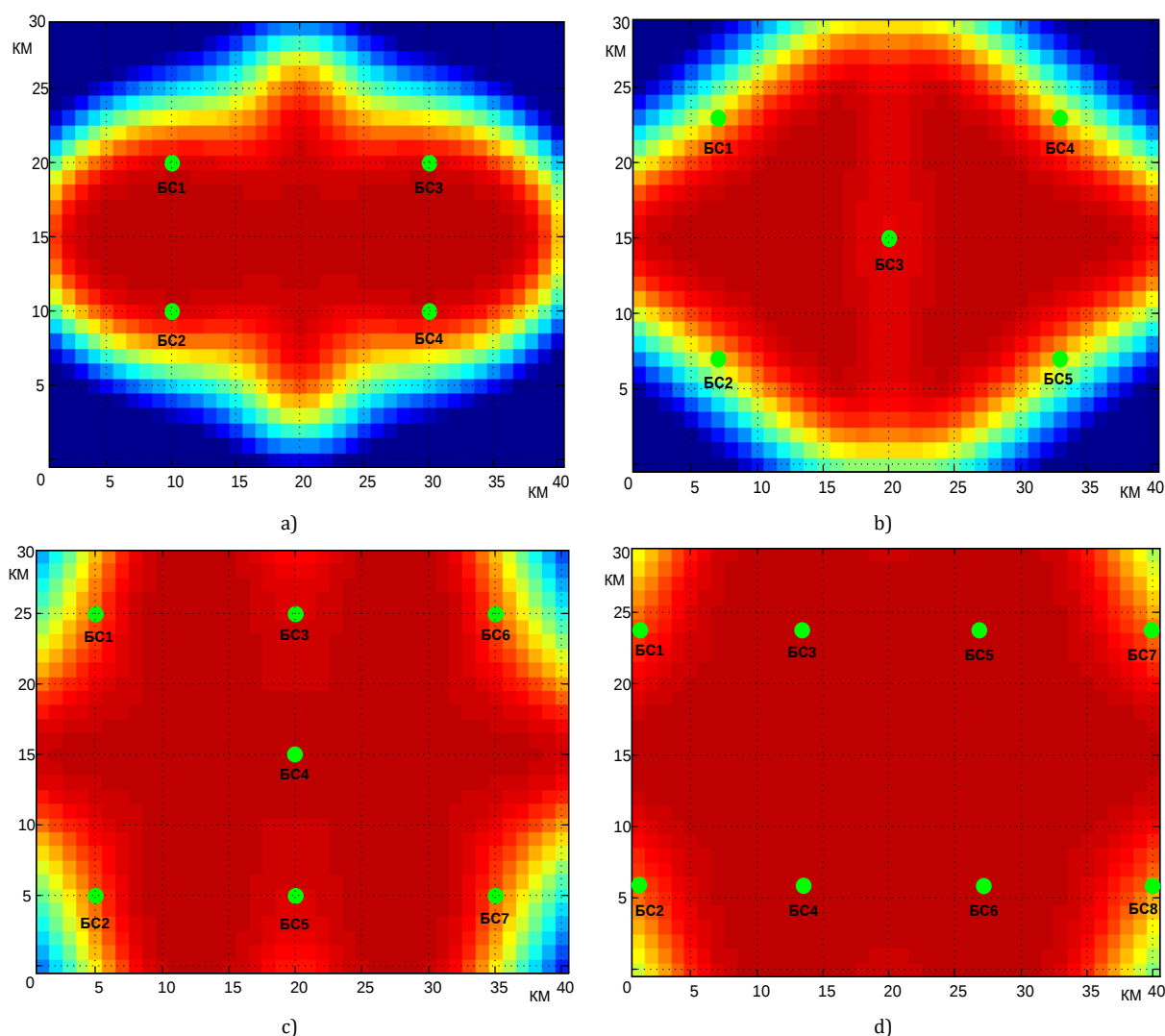


Рис. 2. Варианты топологий системы определения местоположения для различного количества опорных станций: а) 4; б) 5; в) 7; г) 8

Fig. 2. Variants of Location System Topologies for Different Number of Reference Stations: а) 4; б) 5; в) 7; г) 8

Анализ результатов показывает, что полученные варианты интегрированных топологий абонентов удовлетворяют требованиям, предъявляемым к навигационному обеспечению, однако отличаются плотностью распределения и местоположением базовых станций. Причем более распределенные сети имеют лучшие показатели электромагнитной доступности и меньше подвержены деструктивным ЭМВ. Структуры вариантов топологий имеют форму «квадрата». Это решетчатая структура сети, занимающая промежуточное состояние между триангулярной и гексогенной.

Проведем оценку полученных вариантов топологий интегрированной сети с использованием обобщенного показателя [30] эффективности. Частные показатели равнозначные: p_d – доступность системы определения местоположения, p_y – устойчивость к деструктивным ЭМВ. Результаты расчетов приведены в таблице 1 и на рисунке 3.

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчета показателей вариантов интегрированных топологий сети мобильной связи и навигации

TABLE 1. Results of Calculating Indicators for Integrated Mobile Network and Navigation Topologies

N	4	5	6	7	8
p_d	0,73	0,81	0,90	0,95	0,97
p_y	0,25	0,45	0,63	0,85	0,86
Эффект	0,54	0,70	0,85	1	1
Стоимость	0,625	0,75	0,875	1	1,25
Эффективность	0,864	0,93	0,97	1	0,89

Примечание: Эффективность = Нормированный эффект/Нормированная стоимость



Рис. 3. Эффективность различных вариантов интегрированных топологий сети мобильной связи и навигации

Fig. 3. Effectiveness of Various Variants of Integrated Mobile Network and Navigation Topologies

Оценка эффективности функционирования исследуемых систем определения местоположения с использованием метода свертки частных показателей позволяет сделать вывод, что наибольший эффект имеют системы определения местоположения с максимальным числом базовых станций. Однако, дальнейшее увеличение их количества приводит к незначительному приросту эффекта и существенному увеличению стоимости системы. Поэтому наибольшей эффективностью обладают системы определения местоположения из 7 станций.

Заключение

Существующие спутниковые РНС не в полной мере удовлетворяют современным требованиям навигационного обеспечения подвижных объектов управления. Повышение устойчивости и качества навигационного обеспечения возможно путем ее резервирования с подсистемой определения местоположения абонентов сети мобильной связи.

Анализ полученных результатов и перспективных структур систем мобильной связи показывает возможность использования их аппаратно-частотного ресурса для навигационного обеспечения подвижных объектов управления. Предложенная в статье методика формирования интегрированной топологии на основе определения доступности подвижных объектов к опорным станциям с заданной точностью позволяет оценить существующие и перспективные структуры систем мобильной связи с целью их эффективного использования в интересах навигации и связи.

Несмотря на характерный недостаток, заключающийся в возможности получения квазиоптимального решения, подобный подход широко используется в прикладных задачах [31, 32]. Ресурс СНО распределяется таким образом, чтобы в наихудших внешних деструктивных ЭМВ обеспечить наилучшую вероятность устойчивости ее функционирования.

Для повышения доступности спутниковой РНС в сложных физико-географических условиях местности необходима ее интеграция с локальной наземной РНС на основе системы связи с подвижными объектами управления. Интеграция с топологией глобальной системы спутниковой навигации в целях повышения устойчивости, надежности и безопасности функционирования СНО является вопросом дальнейшего исследования.

Список используемых источников

1. Якушенко С.А. Проблемы навигационного обеспечения систем мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов и оценка его безопасности // Информация и космос. 2019. № 2. С. 78–81.
2. Рябов И.В., Чернов Д.А., Толмачев С.В. Разработка алгоритма повышения точности местоопределения в условиях городского ландшафта с использованием сигналов ГЛОНАСС и GPS // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2019. Т. 9. № 2. С. 22–26.
3. Маттос Ф., Русак А., Буланова В. ГЛОНАСС/GPS для всех: испытания на точность и доступность позиционирования однокристального приемника в сложных условиях эксплуатации // Компоненты и технологии. 2012. № 5(130). С. 165–170.

4. Якушенко С.А., Прасько Г.А., Дворовой М.О., Веркин С.С. К вопросу решения антагонистических задач при комплексном противодействии сторон // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2012. Т. 4. № 1. С. 24–26.
5. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Аванесов М.Ю. Модель деструктивного воздействия когнитивного характера // Информация и космос. 2018. № 2. С. 22–29.
6. Самойленко Д.В., Финько О.А. Обеспечение целостности информации в группе беспилотных летательных аппаратов в условиях деструктивных воздействий нарушителя // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2017. № 5-6(107-108). С. 20–27.
7. Якушенко С.А., Малышев А.К., Маняшин Д.А., Карманова Н.А. Многопараметрический поиск оптимальных маршрутов движения подвижных объектов в условиях дестабилизирующих факторов // Информация и космос. 2016. № 4. С. 144–151.
8. Веремеенко К.К., Антонов Д.А., Жарков М.В., Кузнецов И.М. Помехозащищенный навигационный комплекс транспортного средства // Новости навигации. 2016. № 3. С. 9–17.
9. Вокин Г.Г. Концептуальные основы обеспечения защиты позиционирования стационарных и мобильных объектов по данным космических систем глобальной навигации в условиях навигационного противодействия // Информационно-технологический вестник. 2019. № 4(22). С. 9–16.
10. Якушенко С.А., Дворников С.В. Модель угроз навигационной безопасности пользователей спутниковой радионавигационной системы // XXII Международная научная конференция «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы» (Санкт-Петербург, Российская Федерация, 3–7 июня 2019 г.). СПб: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2019. С. 199–206.
11. Затучный Д.А. Методы противодействия несанкционированным радиотехническим атакам на навигационные системы воздушного судна гражданской авиации // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1(21). С. 21–27. DOI:10.21685/2307-4205-2018-1-3
12. Забегалин Е.В. К вопросу об определении термина "информационно-техническое воздействие" // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 2. С. 121–150.
13. Дворников С.В., Духовнический О.Г. Оценка помехозащищенности профессионального радионавигационного оборудования системы ГЛОНАСС // Информация и космос. 2015. № 4. С. 73–77.
14. Перминов А.Н. Современное состояние и перспективы развития системы ГЛОНАСС // Космонавтика и ракетостроение. 2007. № 3(48). С. 5–11.
15. Каюмов А.О., Аксютин М.Н. Перспективы развития систем профессиональной подвижной радиосвязи // Молодежный научный форум: технические и математические науки. 2017. № 4(44). С. 80–85.
16. Агаян А.А. Математические модели для проектирования цифровых сетей связи. М.: МПСС, 1987. 127 с.
17. Снежко В.К., Якушенко С.А. Военные интегрированные системы навигации, связи и управления. СПб.: ВАС, 2014. 452 с.
18. Снежко В.К., Якушенко С.А., Сазонов М.А. и др. Средства и комплексы навигационного обеспечения систем управления специального назначения. СПб.: ВАС, 2018. 508 с.
19. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Дмитриев В.И. Системы мобильной связи. СПб: СПбГУТ, 1999.
20. Семенов С.С., Воронов Е.М., Полтавский А.В., Крянев А.В. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем. М.: ЛЕНАНД, 2016. 520 с.
21. Ильин Е.С. Вероятность нарушения связи в сотовой сети мобильной радиосвязи в условиях замираний сигнала и помехи // Инфокоммуникационные технологии. 2009. Т. 7. № 2. С. 27–31.
22. Ванюков А.Ю. Определение вероятности ошибки в канале связи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2008. Т. 2. № 6. С. 38–40.
23. Абезгауз Г.Г., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н., Коровина И.А. Справочник по вероятностным расчетам. М: Воениздат, 1970. 270 с.
24. Волков Р.В., Саяпин В.Н. и др. Основы построения и функционирования разностно-дальномерных систем координатометрии источников радиоизлучений. СПб.: ВАС, 2013. 116 с.
25. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. М.: Радио и связь, 1983. 416 с.
26. Роджерс К. Укладки и покрытия. М.: Мир, 1968, 132 с.
27. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. М.: Советское радио, 1974, 304 с.
28. Саати Т. Принятие решений: метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
29. Гриф М.Г., Цой Е.Б. Реализация метода последовательного анализа вариантов при оптимизации сложных систем по нечетким и вероятностным показателям // Сибирский журнал индустриальной математики. 2001. Т. 4. № 2(8). С. 123–141.
30. Книга Е.В., Жаринов И.О. Принципы построения комбинированной топологии сети для перспективных бортовых вычислительных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 6(88). С. 92–98.
31. Дворников С.В., Якушенко С.А., Лянгузов Д.А. Динамический выбор радиолиний для систем подвижной спутниковой связи // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 4. С. 28–36. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-4-28-36
32. Якушенко С.А., Малышев А.К. Прогнозирование точности позиционирования в сложных физико-географических условиях // НАУЧНАЯ СЕССИЯ ГУАП (Санкт-Петербург, Российская Федерация, 10-14 апреля 2017). СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2017. С. 154–160.

* * *

Integration of Mobile Network and Navigation Topologies for Mobile Object Management

S. Yakushenko¹, S. Dvornikov²

¹State University of Aerospace Instrumentation,
St. Petersburg, 190000, Russian Federation

²Telecommunications Military Academy,
St. Petersburg, 194064, Russian Federation

Article info

DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-4-60-68

Received 8th October 2020

Accepted 12th November 2020

For citation: Yakushenko S., Dvornikov S. Integration of Mobile Network and Navigation Topologies for Mobile Object Management. *Proc. of Telecom. Universities*. 2020;6(4):60–68. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-4-60-68

Abstract: An approach is developed for sharing the resource of the mobile object communication system and the local radio navigation system based on the integration of their topologies according to the criterion of electromagnetic availability of mobile stations simultaneously to several base stations of the network. This approach can be used in the design of navigation and communication systems and navigation equipment of the consumer.

Keywords: mobile communication system, location detection systems, electromagnetic accessibility, integration of navigation and communication systems.

References

1. Yakushenko S. Problems of the Navigation Support of Monitoring and Dispatching Systems of Mobile Objects and Assessment of its Safety. *Information and Space*. 2019;2:78–81. (in Russ.)
2. Ryabov I.V., Chernov D.A., Tolmachev S.V. Development of an Algorithm for Increasing the Accuracy of Positioning in the Conditions of an Urban Landscape Using GLONASS system and GPS signals. *REDS: Telekommunikatsionnye ustroystva i sistemy*. 2019;9(2):22–26. (in Russ.)
3. Mattos F., Rusak A., Bulanova V. GLONASS system / GPS for All: Testing the Accuracy and Availability of Single-Chip Receiver Positioning in Difficult Operating Conditions. *Komponenty i tekhnologii*. 2012;5(130):165–170. (in Russ.)
4. Yakushenko S.A., Prasko G.A., Dvorovoy M.O., Verkin S.S. Solution of antagonistic tasks in case of complex counteraction of the sides. *H&ES research*. 2012;4(1):24–26. (in Russ.)
5. Dvornikov S., Pshenichnikov A., Avanesov M. Cognitive destruction effect model. *Information and Space*. 2018;2:22–29. (in Russ.)
6. Samoylenko D.V., Finko O.A. Providing Integrity Information Group Unmanned Aerial Vehicles under Destructive Impact Pursu. *Scientific and Technical Journal. Counter-terrorism technical devices. Issue 16*. 2017;5-6(107-108):20–27. (in Russ.)
7. Yakushenko S., Malyshev A., Manyashin D., Karmanova N. Multi Parameter Search of Movable Object Optimum Travelling Routes under Condition of Destabilizing Factors. *Information and Space*. 2016;4:144–151. (in Russ.)
8. Veremeenko K.K., Antonov D.A., Zharkov M.V., Kuznetsov I.M. Vehicle Fault Tolerant Integrated Navigation System. *Novosti navigatsii*. 2016;3:9–17. (in Russ.)
9. Vokin G.G. Conceptual Bases of Provision of Protection of Positioning of Stationary and Mobile Objects According to Space Systems of Global Navigation in the Conditions of Navigation Counteraction. *Information Technology Bulletin*. 2019;4(22):9–16. (in Russ.)
10. Yakushenko S.A., Dvornikov S.V. Navigation Security Threat Model of Satellite Position Fixing Navigation System. *Proceedings of the XXIInd International Scientific Conference on Wave Electronics and Infocommunication Systems, 3–7 June 2019, St. Petersburg, Russian Federation*. St. Petersburg: Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation Publ.; 2019. p.199–206. (in Russ.)
11. Zatuchnyy D.A. Methods of Preventing Unauthorized Electronic Attacks on the Navigation System of the Aircraft of Civil Aviation. *Reliability & Quality of Complex Systems*. 2018;1(21):21–27. (in Russ.) DOI:10.21685/2307-4205-2018-1-3
12. Zabegalin E.V. A Question of Definition of the Term "Information and Technical Impact". *Systems of Control, Communication and Security*. 2018;2:121–150. (in Russ.)
13. Dvornikov S., Dukhovnitsky O. Assessing interference immunity of professional radio navigation equipment of GLONASS system. *Information and Space*. 2015;4:73–77. (in Russ.)
14. Perminov A.N. The Glonass System Current Status and Evolution Prospects. *Kosmonavtika i raketostroyeniye*. 2007;3(48):5–11. (in Russ.)

15. Kayumov A.O., Aksyutin M.N. Prospects for the development of professional mobile radio communication systems. *Molodezhnyi nauchnyi forum tekhnicheskie i matematicheskie nauki*. 2017;4(44):80–85. (in Russ.)
16. Agayan A.A. *Mathematical Models for the Design of Digital Communication Networks*. Moscow: MPSS Publ.; 1987. 127 p. (in Russ.)
17. Snezhko V.K., Yakushenko S.A. *Military Integrated Navigation, Communications and Control Systems*. St. Petersburg: Telecommunications Military Academy Publ.; 2014. 452 p. (in Russ.)
18. Snezhko V.K., Yakushenko S.A., Sazonov M.A. et al. *Means and Complexes of Navigation Support for Special Purpose Control Systems*. St. Petersburg: Telecommunications Military Academy Publ.; 2018. 508 p. (in Russ.)
19. Babkov V.Yu., Voznyuk M.A., Dmitriev V.I. *Mobile Communication Systems*. St. Petersburg: Telecommunications Military Academy Publ.; 1999. (in Russ.)
20. Semenov S.S., Voronov E.M., Poltavsky A.V., Kryanev A.V. *Decision Making Methods in Problems of Assessing the Quality and Technical Level of Complex Technical Systems*. Moscow: LENAND Publ.; 2016. 520 p. (in Russ.)
21. Iljin E.S. Outage Probability in Cellular Mobile Radio in the Conditions of Signal and Interferers Fadings. *Infokommunikacionnye tehnologii*. 2009;7(2):27–31. (in Russ.)
22. Vanyukov A.Yu. Determination of the Error Probability in the Communication Channel. *T-Comm*. 2008;2(6):38–40. (in Russ.)
23. Abezgauz G.G., Tron A.P., Koplenkin Yu.N., Korovina I.A. *Probabilistic Calculations Handbook*. Moscow: Voenizdat Publ.; 1970. 270 p. (in Russ.)
24. Volkov R.V., Sayapin V.N., et al. *Fundamentals of Construction and Functioning of Differential-Range Finder Systems for Coordinateometry of Radio Emission Sources*. St. Petersburg: Telecommunications Military Academy Publ.; 2013. 116 p. (in Russ.)
25. Wentzel E.S., Ovcharov L.A. *Applied Problems of Probability Theory*. Moscow: Radio i sviaz Publ.; 1983. 416 p. (in Russ.)
26. Rogers K. Styling and Covering. Moscow: Mir Publ.; 1968. 132 p. (in Russ.)
27. Berzin E.A. *Optimal Resource Allocation and Elements of Systems Synthesis*. Moscow: Sovetskoe radio Publ.; 1974. 304 p. (in Russ.)
28. Saati T. *Decision Making: a Method for Analyzing Hierarchies*. Moscow: Radio i sviaz Publ.; 1993. 278 p. (in Russ.)
29. Grif M.G., Tsoi E.B. Implementation of the Method of Sequential Analysis of Options when Optimizing Complex Systems for Fuzzy and Probabilistic Indicators. *Sibirskii zhurnal industrialnoi matematiki*. 2001;4(2):123–141. (in Russ.)
30. Kniga E., Zharinov I. Design Principles of a Combined Network Topology for Advanced On-Board Computing System. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2013;6(88):92–98. (in Russ.)
31. Dvornikov S., Yakushenko S., Lyanguzov D. Dynamic Radio Links Selection for Mobile Satellite Communication Systems. *Proc. of Telecom. Universities*. 2019;5(4):28–36. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-4-28-36
32. Yakushenko S.A., Malyshev A.K. Prediction of Positioning Accuracy in Difficult Physiographic Conditions. SCIENTIFIC SESSION of Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 10–14 April 2017, St. Petersburg, Russian Federation. St. Petersburg: Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation Publ.; 2017. p.154–160. (in Russ.)

Сведения об авторах:

ЯКУШЕНКО
Сергей Алексеевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры медицинской радиоэлектроники Государственного университета аэрокосмического приборостроения, was16@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7722-020X>

ДВОРНИКОВ
Сергей Викторович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, practicdsv@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6680-7550>