

УДК 629.783-112:621.396

В.В. Кульнев, канд. техн. наук; Е.В. Кульнев, канд. техн. наук, Е.О. Наконечный
(АО «ЦНИИмаш», г. Королёв)

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТЕКСТА ПО ДАННЫМ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Отмечается актуальность совершенствования навигационной аппаратуры наземных потребителей глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для навигации в сложных условиях. Рассматриваются классы контекста окружающей среды и поведенческого контекста применительно к навигационным приложениям. Рассматриваются методы получения контекста с использованием данных от навигационной аппаратуры потребителей ГНСС. Проводится анализ вариантов использования знаний контекста внешней среды и поведенческого контекста для повышения качества навигации потребителей ГНСС в условиях мешающих воздействий внешней среды и изменения динамики потребителя.

Ключевые слова: ГНСС, навигационные сигналы, сложные условия, контекст окружающей среды, поведенческий контекст.

V.V. Kulnev, E.V. Kulnev, E.O. Nakonechniy. Methods for Determining Context from GNSS Navigation Equipment Data. The relevance of improving the navigation equipment of ground users of global navigation satellite systems (GNSS) for navigation in difficult conditions is noted. The environmental context and behavioral context classes are considered in relation to navigation applications. Methods for obtaining the context using data from the navigation equipment of GNSS consumers are considered. An analysis is made of the options for using knowledge of the context of the external environment and the behavioral context to improve the quality of navigation of GNSS users in the conditions of interfering environmental influences and changes in the dynamics of the consumer.

Key words: GNSS, navigation signals, difficult conditions, environmental context, behavioral context.

Введение

В России и за рубежом для решения экономических, научных и оборонных задач находят все более широкое применение глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, BeiDou. Навигационные услуги ГНСС предоставляются с использованием навигационной аппаратуры потребителя (НАП) различных типов устанавливаемой у потребителя. При этом качество навигационных услуг

во многом определяется техническими характеристиками НАП, а также внешними условиями применения аппаратуры и показателями активности (динамики) потребителя.

При разработке и создании различных образцов НАП всегда учитываются условия ее будущего применения, тип потребителя (активности) (ракетно-космическая техника, авиация, морские суда, автотранспортные средства, пешеходы и др.), особенности (характеристики динамики) его движения, а также характеристики внешней среды, Это позволяет получить образцы НАП, адаптированные к некоторым средним условиям применения и характеристикам заданной области применения аппаратуры.

Поскольку характеристики внешних условий и поведения потребителя обычно отличается от средних показателей, то это может привести к ухудшению точности и надежности местоопределений по данным НАП. Поэтому в целях обеспечения выполнения все возрастающих требований к характеристикам навигационного обеспечения одним из направлений совершенствования НАП является определение и учет в аппаратуре реальных внешних условий и моделей поведения потребителя.

Необходимость уточнения условий навигации связана как с изменчивостью в процессе эксплуатации НАП параметров внешней среды, так и с возможным изменением типа носителя НАП (например, смартфона, находящегося у пешехода при его посадке на автомобиль или поезд).

Информацию о внешней среде, типе потребителя (объекта) и его поведении в зарубежной литературе обычно называют контекстом. Термин контекст имеет широкое толкование. В Кембриджском толковом словаре (*Cambridge Dictionary*) представлено следующее базовое понимание смысла **контекста**: *причина события*; ситуация/среда, в которой что-то существует или происходит [1].

В настоящее время в области спутниковой навигации единого устоявшегося определения контекста пока не принято, поэтому в технической сфере **обычно под контекстом понимают любую информацию, используемую для характеристики ситуации, в которой находится некоторый объект либо происходит процесс или действие.** Такое определение (интерпретация) контекста хорошо соответствует навигационным приложениям и далее будем ориентироваться на него.

Виды контекста и методы его уточнения

Контекст в навигационных приложениях (навигационный контекст) многообразен и имеет много уровней детализации [2]. При использовании контекста для навигационных приложений выделяют контекст окружающей среды и поведенческий контекст [2, 3].

При анализе свойств контекста для категоризации обычно вводят классы, подразделяющиеся на виды и подвиды. В [2] была предложена категоризация видов контекста, показанная на рис. 1. Понятие контекста применительно к навигационным приложениям ГНСС было уточнено в [3], проведен анализ его видов, а также предложена упрощенная классификация классов и видов контекста.

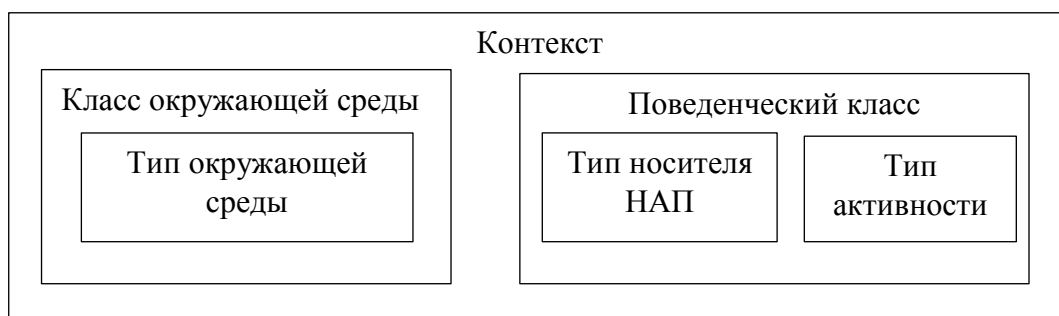


Рис. 1. Категории контекста

Исходя из опыта использования информации ГНСС можно выделить следующие виды (классы) внешней окружающей среды для наземной НАП: открытая местность с отсутствием окружающих препятствий, полузакрытая и закрытая препятствиями местность, внутренние пространства. При этом каждый класс окружающей среды может иметь свои типы. Например, типами открытой окружающей среды могут быть открытое поле, открытая поверхность моря или океана, воздушное пространство и т. д. [3]. В зависимости от целей исследований контекста иногда вводятся дополнительные типы окружающей среды (например, область перехода из помещения в открытое пространство) или типы поведенческого контекста (например, типы транспортных средств) [2].

Контекст окружающей среды характеризует внешние условия, не зависящие от потребителя, и связан со степенью доступности навигационных сигналов и другими особенностями, которые могут использоваться для определения местоположения [2, 3].

Знание контекста окружающей среды особенно важно использовать для улучшения навигации в сложных условиях городской застройки, при больших затенениях и многолучёвости. Знание указанного контекста позволит сформировать корректные гипотезы о доступности потребителю в данных условиях информации от НКА ГНСС и других дополнительных систем (сотовых систем связи, сетей *Wi-Fi* и др.), а также выработать рекомендации о привлечении информации иных навигационных датчиков (баровысотомера, магнитного компаса, инерциальных систем, систем счисления пути и др.) для получения точных и надёжных местоопределений. При этом не всегда использование

всех возможных навигационных датчиков и систем на потребителе экономически целесообразно, особенно для решения бытовых задач.

Поведенческий контекст связан с движением потребителя и описывает особенности его активности (движения). Поведенческий контекст как класс может быть декомпозирован по типам потребителя (носителя) - пешеходы, велосипеды, автомобили, морские и речные суда, самолёты, ракеты, космические аппараты и др. В свою очередь внутри одного типа потребителей возможны различные типы их активности. Например, пешеход может стоять на месте, идти, бежать, подниматься или спускаться по лестнице и т. д.

Использование в алгоритмах и технических решениях НАП данных о реальном контексте (внешней среде и поведении потребителя) является важным направлением повышения точности и достоверности навигации по сигналам ГНСС и совершенствования НАП.

Варианты использования знаний контекста внешней среды и поведенческого контекста для повышения качества навигации наземных потребителей ГНСС в условиях мешающих воздействий внешней среды и изменения динамики потребителя были рассмотрены в [2, 3].

Знание контекста внешней среды может позволить спрогнозировать случаи возможного ухудшения точности НАП при появлении затенений препятствиями, а в процессе решения задачи местоопределения скорректировать параметры навигационного фильтра или выбрать оптимальный метод обработки для данного контекста. Например, метод соответствия тени ГНСС ((Shadow Matching) [4]) может улучшить точность позиционирования в городских условиях, но не приносит пользы на открытых площадках. Поэтому его целесообразно использовать только в городской среде. Точно так же методы навигации пешеходов, реализованные в смартфоне, такие как счисление пути пешехода с использованием обнаружения шагов будут давать неверную информацию при использовании смартфона на транспортном средстве, когда предполагаемый и фактический контексты будут не совпадать.

Учитывая важность знания и использования навигационного контекста необходимо проводить в процессе сеанса навигации или перед его началом уточнение рабочего контекста и его атрибутов и соответствующим образом адаптировать методы обработки информации в НАП, которые она использует [5].

При определении контекста окружающей среды целесообразно определять:

- класс окружающей среды (открытая, полузакрытая, закрытая, воздушное пространство, космическое пространство, водная поверхность, подводное пространство, внутреннее пространство), тип окружающей среды (город застройка, пригород, лес,

внутренние помещения и др.), а также параметры (атрибуты) окружающей среды (характеристики рельефа местности, характеристики затенений в закрытой и полужакрытой местности) [2, 3];

- класс поведенческого контекста, тип потребителя (наземный транспорт, железнодорожный поезд, корабль, самолет, велосипед, пешеход и др.), тип его активности (стационарный, низкодинамичный, высокодинамичный) и его характерные параметры (например, скорость и ускорения движения) [2, 3].

Существуют различные методы определения контекста внешней среды и поведенческого контекста [5]. Однако для некоторых методов требуются датчики, которые не всегда используются для навигационных приложений (например, сотовая связь, Wi-Fi, магнитометр, детектор света и др.), что приводит к большему энергопотреблению, громоздкости и стоимости [6, 7].

В работах [5, 6] основное внимание уделяется определению класса контекста окружающей среды. При этом число классов окружающего контекста варьируется от трех до пяти и более (внутренние помещения, городские каньоны, городские районы, лес/деревья и открытое небо и др.). Известны также методы определения контекста внешней среды на основе данных навигационной аппаратуры ГНСС и данных датчиков технического зрения [6]. Методы определения контекста окружающей среды, основанные только на использовании ГНСС данных были рассмотрены в [7].

Особенности определения контекста по данным НАП

Наиболее экономичным методом определения реального контекста, не требующим оснащения потребителя дополнительными датчиками, является использование данных от НАП. При этом в случае использования для адаптации НАП полученных сведений о контексте можно говорить о реализации контекстно-адаптированной навигации.

Как известно, в процессе работы от НАП можно получить следующие данные:

- текущее время, текущие координаты и составляющие вектора скорости потребителя,
- мощность принимаемых навигационных сигналов (отношение сигнал/шум),
- число видимых навигационных спутников,
- азимуты и углы места НКА с принимаемыми сигналами,
- азимуты и углы места всех доступных НКА на небесной полусфере,
- геометрические факторы PDOP, HDOP, VDOP.

Эти данные могут быть использованы как для получения контекста окружающей среды, так и поведенческого контекста. Так, данные НАП о текущих координатах и составляющих вектора скорости могут быть использованы для оценки поведенческого контекста - параметров динамики движения потребителя (мгновенной, средней, минимальной и максимальной скорости, ускорений и др.). Другие выходные данные НАП могут быть использованы для получения данных о внешней среде и некоторых ее характеристиках. Помимо данных от НАП с помощью измерений акселерометров, гироскопов, магнитометров и барометров может быть достаточно просто уточнен поведенческий контекст.

Отношение мощности несущей к мощности шума (C/N_0), является наиболее известным индикатором качества сигнала ГНСС, который показывает насколько сильно (или нет) ослаблен сигнал. В таблице 1 представлены значения C/N_0 для различных классов контекста внешней среды [6].

Таблица 1 - Диапазоны значений C/N_0 для различных классов контекста внешней среды

	Виды внешней среды			
	Наружная среда	Внутренняя среда (в здании)		
	Открытая местность	В помещении вблизи окон	В помещении в удалении от окон	Глубоко в помещении без окон
C/N_0 (дБГц)	35–45	25–35	10–25	<10

Существует определенная связь отдельных выходных данных НАП ГНСС с характеристиками внешней среды (см. таблицу 2).

Таблица 2 - Связь выходных данных НАП ГНСС с характеристиками внешней среды

Данные НАП	Возможные характеристики внешней среды
1. Мощность принятых навигационных сигналов (отношение сигнал/шум (C/N_0)).	При величине $C/N_0 > 30$ дБГц – внешняя среда открытая или полузакрытая местность. При величине $C/N_0 \leq 30$ дБГц – внешняя среда – полукрытая местность с переотражениями.
2. Число видимых спутников N	При $N \geq 8$ для каждой ГНСС – внешняя среда открытая местность. При $N = 4...7$ - средние затенения (внешняя среда - широкие улицы или пригород). При $N < 4$ - присутствуют большие затенения (внешняя среда - городской каньон).
3. Азимуты и углы места видимых и невидимых навигационных спутников.	Номера видимых и невидимых спутников, их азимуты и углы места позволяют сформировать мгновенные области (направления) затенений (диаграмму затенений).

4. Геометрические факторы PDOP, HDOP, VDOP.	При PDOP < 3...4 - малозатененное окружение (открытая среда), средняя величина PDOP = 4...7 о среднем затенении (широкие улицы или пригород), большая величина – PDOP > 8...10 – о большом затенении (городской каньон).
---	--

Из анализа данных таблиц 1 - 2 напрашивается вывод о простоте определения класса контекста внешней среды по величине силы сигнала. Однако значения C/N_0 могут существенно изменяться в течение периода наблюдения (из-за временных потерь видимости спутника на короткий период времени). Кроме того, отношения C/N_0 характеризуют силу сигнала только одного конкретного НКА и в направлении на один спутник и поэтому не могут описывать всю внешнюю среду. Для более достоверной оценки класса окружающей среды целесообразно совместное использование различных признаков.

В [6] был предложен подход, основанный на использовании вектора признаков на основе входных данных НАП, включающий в себя среднее значение мощности сигнала, геометрический фактор точности, число видимых спутников и т.д. Полученный вектор признаков далее использовался в алгоритме распознавания контекста окружающей среды с использованием алгоритмов машинного обучения. Результаты экспериментальных работ по определению класса окружающей среды для потребителя в движении, показали точность определения класса контекста окружающей среды в диапазоне от 81.3% до 97.4% для различных типов сред.

Однако не всегда даже сложные методы распознавания контекста дают однозначный результат, особенно если потребитель располагается на границе двух близких видов внешней среды, например, на выходе из здания на улицу переходная среда обладает признаками от обоих классов. В этих случаях, когда сложно однозначно определить класс внешней среды могут быть использованы методы нечеткой логики [5].

Следует отметить, что знание класса окружающей среды не всегда достаточно для оптимизации работы НАП. Часто в городской среде для адаптации алгоритмов требуется также знание и других атрибутов контекста, например:

- параметров (характера) затенений при нахождении потребителя в сложных городских условиях;
- типа потребителя, оснащенного НАП (например, навигатор (смартфон) автомобиля может также использоваться водителем (пешеходом). на открытой местности, улице города, в метро или в закрытом помещении и др.).

Следует отметить, что определение только типа внешней среды не всегда достаточно для адаптации НАП. Более целесообразным является также получение любых

дополнительных данных о параметрах (атрибутах) внешней среды. Так, для городской окружающей среды интерес представляют данные о структуре (параметрах) затенений окружающими потребителя препятствиями (диаграмма затенений [8]). Структура затенений может быть наглядно представлена в виде диаграммы (карты) затенений.

Диаграмма (карта) затенений, представляет собой отображение на небесной сфере пространственных границ препятствий (азимутов и углов места контуров препятствий) в точке наблюдения или на трассе движения транспортных средств (в каждой точке улицы) [8].

Использование карты затенений в ряде случаев позволяет более эффективно применять методы и алгоритмы повышения точности, разработанные для городских условий (метод соответствия тени - Shadow Matching [4]). Знание пространственных границ затенений также позволяет отбраковывать переотраженные сигналы. Например, если НАП принимает навигационный сигнал от НКА, находящегося в затененной области небосвода (т.е. трасса распространения сигнала НКА заблокирована постройками), то это означает что принимается отраженный сигнал от каких-то других препятствий и его нужно исключить из обработки.

Диаграммы затенений можно получить расчетным путем с использованием трехмерной модели города для каждой интересующей точки на улицах города, однако это требует больших вычислительных затрат. Кроме того, трехмерные модели городов не всегда открыто доступны потребителям, а предлагаемые модели обычно не учитывают расположение и высоту реальных зеленых насаждений (деревьев).

Для получения диаграмм затенений могут быть также использованы угломерные средства (например, теодолиты, тахеометры), определяющие азимуты и углы возвышения (места) контурных границ окружающих препятствий для точки нахождения потребителя. Однако, такой способ требует наличия геодезических средств измерений и достаточно трудоемкий.

Для заблаговременного получения диаграмм затенений на интересующих улицах или участках местности также можно использовать фотографические средства (с объективом «рыбий глаз»), осуществляющие фиксацию изображений небосвода [9]. Полученные снимки затем используются для определения пространственных границ затенений.

Более простым является метод получения характеристик контекста внешней среды для городских улиц с использованием НАП ГНСС. По данным от НАП об азимутах и углах места текущего расположения видимых и невидимых НКА может быть получена диаграмма затенений в точке расположения аппаратуры.

Для одного момента времени расположения НКА это будет мгновенный срез диаграммы. Для получения полной диаграммы затенений в точке улицы необходимо с использованием НАП провести наблюдения на некотором интервале времени. Для уменьшения продолжительности интервала наблюдений НАП должна быть многоканальной и мультисистемной.

Проведенный эксперимент показал, что для построения диаграммы затенений в одной точке улицы продолжительность временного интервала наблюдений многосистемной НАП должна быть не менее 6...8 часов.

Ниже на рисунке 2 для примера показаны диаграмма затенений для одной точки построенная по данным угломерных измерений границ препятствий тахеометром (рисунок слева) и по обработанным данным от мультисистемной ГЛОНАСС/GPS НАП на интервале времени 8 часов (рисунок справа).

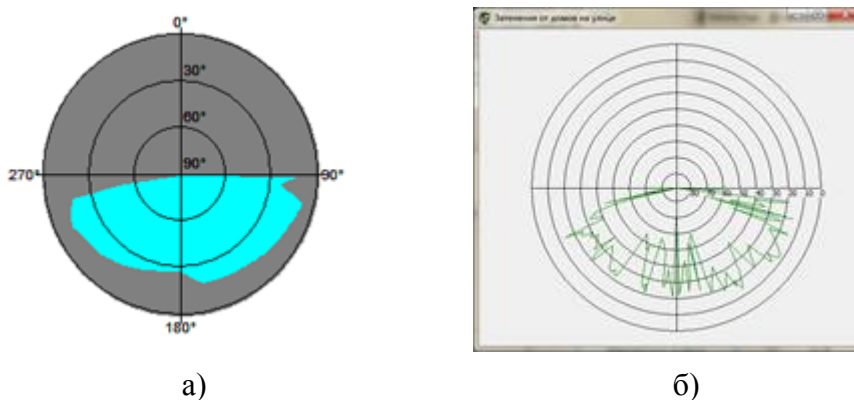


Рис. 2 - Пример получения диаграммы затенений по данным от НАП

Из рисунка 2 видно, что для получения более монотонной (не изрезанной) диаграммы целесообразно использовать многосистемную НАП (четырёх и более) системную или увеличивать интервал наблюдения в точке расположения аппаратуры.

Формирование характеристики контекста окружающей среды - диаграмм затенений можно проводить автономно каждым пользователем (децентрализованный подход) с помощью специального программного обеспечения. При необходимости получения карты затенений для всей улицы следует провести такие наблюдения на всех представляющих интерес точках улицы, однако потребуются длительное время для сбора данных даже для небольшого района города. Полученные диаграммы затенений при этом должны непрерывно храниться у каждого транспортного средства и использоваться при необходимости в НАП для повышения качества навигации на обследованных улицах.

Для сбора данных о затенениях может быть использована аппаратура как одного транспортного средства, так и аппаратура других транспортных средств, проезжающих интересующие точки трасс движения на улице. Полученные данные могут централизованно

собираются и хранятся во внешнем банке данных о городских затенениях на облачном сервере (централизованный подход). Пополнение сервера можно организовать в реальном времени или эпизодически, например, по завершении рабочего дня или поездки.

Обмен с сервером должен быть двухсторонний и сервер должен периодически или по запросу потребителя выдавать ему актуальные данные о городской среде (например, карты затенений на улицах, рекомендации на проведение калибровки высотомера, магнитного компаса перед въездом на улицы с большими затенениями или перед въездом в тоннели).

Для организации предлагаемого централизованного сбора данных может быть создан сервис, например, на базе центра организации дорожного движения. Можно также организовать сбор данных на сервере от НАП автомобилей, пользующихся уже имеющимися сервисами построения оптимальных маршрутов в условиях пробок (например, сервис «Яндекс-карты» [10]), и построить диаграммы затенений для всех интересующих улиц.

Полученные диаграммы можно по запросу потребителей загружать в НАП для их учета в процессе местоопределений. Эти данные можно целесообразно также совместить с вспомогательными данными, используемыми в традиционных ассистирующих системах [11]. Так, от сервера также будет можно получать и иную ассистирующую информацию, улучшающую процесс местоопределений:

- эфемериды НКА;
- номера видимых спутников;
- высоту для текущего местоположения (даже приблизительного)
- диаграмму затенений
- данные из соседних автомобилей по видимым спутникам, текущему местоположению и др.

Предлагаемый сервис сможет способствовать более надежной навигации в сложных городских условиях и повысить точность и устойчивость местоопределений по сигналам ГНСС.

Заключение

1. Знание класса контекста окружающей среды позволит адаптировать методы обработки сигналов и навигационной информации в НАП. Так, знание класса контекста окружающей среды как класс «городские условия», позволяет предполагать, что принимаемые навигационные сигналы будут ослаблены.

2. В условиях слабого сигнала для улучшения обнаружения сигнала может быть увеличена длительность когерентного интегрирования [6]. Знание факта наличия многолучевости позволяет выбрать один из методов борьбы с ее последствиями [6].
3. Определение факта нахождения в городской среде позволяет использовать и другие методы повышения точности, основанные на свойствах городских затенений сигналов – метод соответствия тени (Shadow Matching) [4]. Знание же того, что НАП находится на открытой местности позволяет не подключать дополнительные навигационные датчики и уменьшить энергопотребление.
4. Благодаря знанию поведенческого контекста может быть учтена дополнительная информация в алгоритмах навигационного решения [12]. Например, при местоопределении наземных и надводных потребителей уже известная высота может быть зафиксирована и считаться неизменной на стоянке и в некотором интервале времени, что улучшит наблюдаемость других координат в сложных условиях. Знание факта остановки потребителя может позволить скорректировать на время остановки алгоритм обработки информации, например включить режим осреднения и таким образом повысить точность результатов местоопределений. В случае же необходимости экономии заряда батареи наиболее энергоёмкие навигационные датчики или навигационный приёмник можно будет отключать на время остановки.
5. Знание контекста окружающей среды может быть использовано для предупреждения потребителя или беспилотного транспортного средства о приближении к препятствиям, для оперативной корректировки траектории движения потребителя.
6. Знание контекста окружающей среды может быть использовано для реконфигурации навигационно-связного оборудования. Так, знание факта нахождения потребителя в городской полуоткрытой среде можно использовать для подключения связного оборудования и получения от серверов ассистирующей информации, которая позволит повысить точность доступности навигации в этих сложных условиях.
7. В целом можно утверждать, что контекстно-зависимые адаптивные навигационные решения улучшат навигационные характеристики с точки зрения как точности, так и надежности. При этом, использование в контекстно-адаптированной НАП элементов искусственного интеллекта позволит

аппаратуре правильно учитывать влияние внешней среды и поведение потребителя и конфигурировать НАП под эти условия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cambridge Dictionary online. [Электронный ресурс]. URL. <https://dictionary.cambridge.org/> (дата обращения 26.05.21).
2. Groves, P.D., et al., “Context Detection, Categorization and Connectivity for Advanced Adaptive Integrated Navigation,” ION GNSS 2013, Nashville, TN, September 2013, pp. 1039-1056. <https://core.ac.uk/download/pdf/16259646.pdf>. (дата обращения 11.04.2023).
3. Кульнев В.В., Кульнев Е.В. Использование знаний о контексте применительно к навигационной аппаратуре потребителей глобальных навигационных спутниковых систем. - Космонавтика и ракетостроение, 2021, вып. 5(112), с. 59 – 68.
4. Groves P.D. Shadow Matching: A New GNSS Positioning Technique for Urban Canyons. – Journal of Navigation, 2011, v. 64, pp. 95 – 105.
5. Han Gao and Paul D. Groves. Environmental Context Detection for Adaptive Navigation using GNSS Measurements from a Smartphone. Journal of Navigation, Volume 65, Issue 1, Spring 2018. Pages 99-116. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/navi.221>. (дата обращения 01.02.2023)/
6. Florent Feriol , Damien Vivet and Yoko Watanabe. A Review of Environmental Context Detection for Navigation Based on Multiple Sensors. Sensors **2020**, 20, 4532; doi:10.3390/s20164532. https://res.mdpi.com/d_attachment/sensors/sensors-20-04532/article_deploy/sensors-20-04532.pdf. (дата обращения 02.04.23)/
7. Florent Feriol, Yoko Watanabe, Damien Vivet. GNSS-based environmental context detection for navigation. 2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Jun 2022, Aachen, Germany. pp.888- 894, ff10.1109/IV51971.2022.9827023ff. fhal-03694409f. URL: <https://hal.science/hal-03694409/document> (дата обращения 12.04.23)/
8. Кульнев В.В., Кульнев Е.В., Кульнев О.Е. Выбор показателей затенений навигационных сигналов в городской среде для оценки условий навигации потребителей глобальных навигационных спутниковых систем. – Космонавтика и ракетостроение, 2021, вып. 2(119), с. 95 – 108.
9. L. Chen et al. Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. International Journal of Climatology. Int. J. Climatol. 32: 121–136 (2012).
10. URL: <https://yandex.ru/support/maps/>. (дата обращения 01.06.2021).
11. Frank van Diggelen. A-GPS: Assisted GPS, GNSS and SBAS. Artech House. ISBN-13: 978-1-59693-374-3. London. 2009.
12. Gao H, Groves P. Context Detection for Advanced Self-Aware Navigation Using Smartphone Sensors. In Proceedings of the International Navigation Conference 2017. Brighton, UK: Royal Institute of Navigation, 2018.