



ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭКБ

PROSPECTS FOR APPLICATION AND FURTHER DEVELOPMENT OF TECHNICAL MODULES ON THE BASE OF DOMESTIC CHIPSETS

УДК 621.396.98, 629.051

КОРНЕЕВ ИГОРЬ ЛЕОНИДОВИЧ

К. т. н., директор по научной работе

АО «НИИМА «Прогресс»

125183, г. Москва, проезд Черепановых, 54

korneyev@mri-progress.ru

KORNEEV IGOR L.

Ph.D

JSC “PROGRESS MRI”

54 Cherepanovykh Lane, Moscow, 125183, Russia

korneyev@mri-progress.ru

ЕГОРОВ ВАЛЕРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

Д. т. н., начальник отдела

ФГУП «ГосНИИАС»

125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7

v-sphinks@yandex.ru

EGOROV VALERYI V.

Sc.D, Chief of department

State Research Institute of Aviation Systems

7 Victorenko St., Moscow, 125319, Russia

v-sphinks@yandex.ru

Рассмотрена локальная система навигации, создаваемая в НИИМА «Прогресс» на основе комплекта специализированных СБИС, разработанных на предприятии ранее. Приведена классификация локальных систем навигации. Приведены параметры системы и ее преимущества перед ближайшим зарубежным аналогом. Рассмотрены вопросы организации работы системы, борьбы с переотражениями и принципы синхронизации. Приведены результаты измерения инструментальной погрешности позиционирования разрабатываемой локальной системы навигации.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС); навигационные приемники; локальная система навигации; навигационные сигналы; инструментальная погрешность.

The paper considers a local navigation system that is being developed in JSC “Progress” on the base of domestic chipset (ASIC). It also gives a classification of local navigation systems, as well as the system’s features and its advantages over its closest foreign analog. The paper highlights the organization of the system operation, principles of synchronization and methods of combating multipath. It also gives the results of measurement of instrumental position error of the local navigation system.

Keywords: Global Navigation Satellite Systems (GNSS); navigation receivers; local navigation systems; navigation signals; instrumental position error.

Разработанная в 2015 году в НИИМА «Прогресс» система на кристалле (СК), состоящая из цифровой K1917BC014 (ЦПП-ЛСН) и K5200MX014 (РППУ-ЛСН) радио части, предназначена для проектирования и разработки локальных систем навигации (ЛСН-Прогресс), дополнительных к глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС). Основное назначение ЛСН — дифференцирование/обслуживание абонентов, работа в условиях преднамеренных помех, увеличение точности определения координат по сравнению с ГНСС. Прототипами предполагаемой системы являются ЛСН СФИНКС [1] (Россия, 2000 г.) и ЛСН Локата [2] (США, 2013 г.). Облик ЛСН определяется, в первую очередь, ее применениями, а затем — используемой элементной базой. В частности, различия между ГНСС и ЛСН определяются: точностью, помехозащищенностью и быстродействием; у ЛСН-Прогресс эти параметры значительно выше, а область действия — шире. ЛСН является частным случаем сети. Различают навигационные, информационные, навигационно-информационные сети, пространственно-распределенные измерительные сети. Они могут иметь стационарную, динамическую, синтезированную, детерминированную или случайную архитектуру. Конструкцией сети определяется взаимодействие внутри нее: самоорганизующиеся или сети с заданной структурой (например, ГНСС).

Это определяет дополнительные ограничения на сигналы внутри сети.

Согласно предварительному анализу, ЛСН-Прогресс имеет гибкую архитектуру и регулируемые параметры, реализует прием в синхронном и асинхронном режимах, что определяет возможность активной и пассивной навигации. При использовании в качестве рабочего сигнала ПСП, имеется возможность выбора ее параметров:

- длина от 1024 символов — ПСП₁₀₂₄;
- допустимое отклонение частоты ПСП₁₀₂₄, от номинальной ± 10 кГц;
- диапазон работы 0,1–2,5 ГГц;
- тактовая частота 1 МГц;
- модуляция — BPSK;
- интервал измерения момента поступления ПСП₁₀₂₄ в ЛСН — 1 мс;
- инструментальная погрешность измерения момента приема ПСП₁₀₂₄ в режиме навигации не больше 1ps , в асинхронном режиме — не больше 10ps .

При увеличении длительности сигнала, в частности, для ПСП_{N1024} допустимое рассогласование частоты входного сигнала от номинальной уменьшается в N раз, при увеличении помехозащищенности в те же N раз. ЛСН-Прогресс имеет измерительный/навигационный



канал и канал квитирования. В частности, в авиационном варианте это сигнал с GFSK модуляцией в полосе 25 кГц. Помимо квитирования он может быть использован для создания авиационных самоорганизующихся сетей АЗН-В. Наличие в составе K1917BC014 микроконтроллера и ОЗУ 1 МБ позволяет использовать цифровую часть СК для генерации ПСП, имеющей длину не меньшую 2^{200} , и для решения навигационных задач.

Известно, что наибольшие проблемы при создании локальных систем навигации связаны с наличием статистически неровной границы, с переотражениями от нее навигационного и связного сигналов. С одной стороны, это влияет на точность навигации, а несогласование пропускной способности приземной линии связи со скоростью поступления информации в ЛСН приводит к искажению информации в приземной линии связи, и к перегрузке ЛСН. По этой причине в некоторых задачах имеется необходимость снизить интенсивность поступающего потока информации. Это можно сделать, например, путем ограничения амплитуды. Для согласования пропускной способности приземной линии связи с темпом поступления информационного потока можно воспользоваться преобразованием время — пространственная координата, а затем снизить скорость передаваемого редуцированного сообщения до значения, согласованного с каналом связи. Издержки предлагаемого метода согласования связаны с нестабильностью частот на приемных пунктах ЛСН, с искажениями скорости передачи информационной последовательности с пункта на пункт, с наличием помехи многопутного распространения (ПМП), но при существенном ограничении скорости передачи информационного потока можно полностью избавиться от ПМП (это и есть одна из целей редукции).

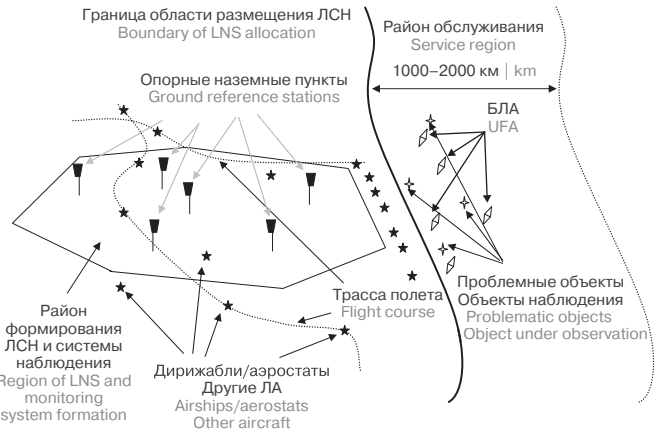


Рис. 1. Обобщенная схема ЛСН

Fig. 1. Generalized block-scheme of LNS

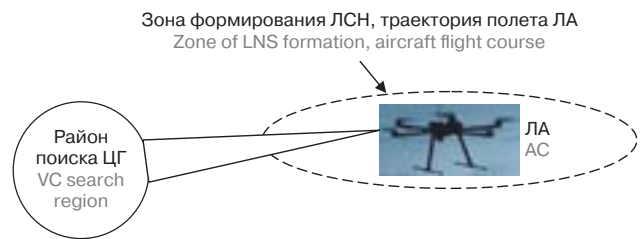


Рис. 2. Синтезированная ЛСН для скрытого поиска и спасения ценного груза

Fig. 2. LNS synthesized for covert VC detection and rescue

The system on chip (SoC) developed by NIIMA “Progress” in 2015 consists of digital radio parts K1917BC014 (CPP-LNS) and K5200MX014 (RPPU-LNS) and is meant for designing and developing the local navigation system (LNS-Progress), complementary to global navigational satellite systems (GNSS). The main purpose of local navigation system (LNS) is to provide subscribers with differentiation/servicing in the presence of jamming, to increase the accuracy of coordinates determination relative to GNSS systems. Prototypes of the proposed system are LNS SPINX [1] (Russia, 2000) and LNS Lokata [2] (USA, 2013). Characteristics of LNS are determined primarily by its applications, and also by element base being used. In particular, differences between GNSS and LNS systems are determined by: accuracy, interference immunity and performance; in case of LNS Progress these parameters are significantly higher, and the scope of applicability is wider. LNS is a particular case of a network. A distinction is made between: navigational, informational, navigation-informational networks, spatially-distributed measurement networks. They may possess a stationary, dynamical, synthesized, deterministic or probabilistic architecture. The network structure is determined by interaction inside it:

self-organizing or network with specified structure (for example, GNSS). This imposes additional constraints on signals inside the network.

According to preliminary analysis, LNS-Progress owns a flexible architecture and adjustable parameters, carries out receiving in synchronous and asynchronous mode which makes possible both active and passive navigation. In case of using PRS as operating signal, there is a possibility of choosing its parameters:

- length starting from 1024 symbols — PRS_{1024} ;
- permissible deviation of PRS_{1024} frequency from nominal value $\pm 10\text{kHz}$;
- operating range of 0.1–2.5GHz;
- clock frequency of 1MHz
- modulation — BPSK;
- interval of PRS_{1024} arrival measurements in LNS — 1ms;
- instrumental error of PRS_{1024} arrival measurement in the mode of navigation does not exceed 1ps, in asynchronous mode — less than 10ps.

In case of increase in signal duration, particularly for PRS_{N1024} , permissible frequency mismatch for input signal relative to rated frequency decreases by a factor of N, if interference tolerance increases by the same factor of N. LNS-Progress includes measurement/navigation channel and handshaking channel.

In particular, in case of avionics it is signal with GFSK modulation in 25kHz band. Apart from handshaking, it may be used for creating aviation self-organizing networks AZN-B. The presence of micro-controller and 1MB RAM within K1917BC014 makes it possible to use digital HC for generating PRS with the length of at least 2^{200} and for solving navigation problems.

It is known that largest problems arising in the course of local navigational network creation are related to the presence of the statistically uneven boarder with repeated reflections of navigation and communication signals from it. On the one hand, this affects the accuracy of navigation, while transmission capacity of communication ground line mismatch with the rate of data entry in LNS results in the information distortion in communication ground line and in LNS reset. For this reason in some missions it is necessary to reduce the receiving data flow intensity. It can be done, for example, by means of restricting the amplitude. For matching throughput capacity of ground communication line with the rate of incoming data flow it is possible to make use of conversion time — spatial coordinate, and then to reduce the rate of transmitted reduced message down to the value, which is matched with the communication channel. Expenses of the proposed matching



Как правило, структура ЛСН представляет собой внешний формирующий навигационный сигнал периметр. Обобщенная схема ЛСН представлена на рис. 1. Предполагается, что навигационное поле ЛСН позволяет определить координаты абонента относительно заданной системы координат. В наиболее общей форме ЛСН базируется на (при)поднятых над поверхностью пунктах размещения приемно-передающей аппаратуры ЛСН: вешках, зданиях, аэростатах, дирижаблях, летательных аппаратах (ЛА), беспилотных ЛА (БЛА), пилотируемых ЛА (ПЛА), спутниках (низкоорбитальных), имеющих устойчивые орбиты, в частности, геостационарные. Дальность действия D ЛСН на необорудованной территории ограничивается радиогоризонтом, определяемым по приближенной формуле (1):

$$D(km) \approx 3,57(\sqrt{Kh_1(m)} + \sqrt{Kh_2(m)}), \quad (1)$$

где h_1 — высота приемно-передающего пункта ЛСН в метрах, h_2 — пункта потребителя услуг ЛСН в метрах.

Легко видеть, что за счет эшелонирования район обслуживания ЛСН ограничивается только возможностью формирования района действия ЛСН и ничем другим.

Среди ЛСН наиболее экзотическими являются скрытные системы обнаружения и спасения ценных грузов. Рассматривается следующая схема взаимодействия и формирования ЛСН (навигационного поля) и «ценного груза (ЦГ)», изображенная на рис. 2.

Технология поиска:

1. ЛА излучает ПСП и передает свои текущие координаты и время.
2. На стороне ЦГ эта информация принимается.
3. После того как получены значения хотя бы с трех-четырех точек траектории, ЦГ вычисляет взаимные координаты ЛА-ЦГ в системе координат ЛА.
4. Затем ЦГ направляет ПСП сигнал на ЛА, передавая и собственные координаты и свое точное время.
5. Получив эти данные, ЛА направляется к ЦГ, забирает его и, тем самым, его спасает.

method are attributed to frequencies instability at LNS reception centres, with rate distortions of information sequence transmission from one centre to another, and the presence of multipath propagation interferences (MPPI), but with considerable restriction of data transmission rate it is possible to completely remove MPPI (which is one of the reduction purposes).

As a rule, LNS structure is an external perimeter that forms navigation signal. Fig. 1 shows generalized LNS block-scheme. It is assumed that navigation field of LNS enables specifying subscriber's coordinates relative to the certain coordinates system. In most general form, LNS is based on elevated above the ground surface centres with allocated transmitting equipment: surveying rods, buildings, aerostats, airships, aircraft (AC), unmanned aircraft (UFA), piloted AC (PAC), satellites (low-orbit) with stable orbits, in particular geosynchronous. The range of LNS action, D , in case of unequipped territories is restricted by radio horizon specified by approximate formula (1):

$$D(km) \approx 3,57(\sqrt{Kh_1(m)} + \sqrt{Kh_2(m)}), \quad (1)$$

where $D(km)$ is the range of reliable signal reception in kilometers; $K = 4/3$ — refractive index; h_1 — altitude of LNS reference station antenna in meters; h_2 — altitude of LNS user station antenna in meters.

It is obvious that due to servicing region echelonment, LNS is restricted only by the ability to form the area of its operation and by nothing else.

Among LNS most exotic are covert valuable cargo searching and rescuing systems. The following scheme (see Fig. 2) presents the formation (navigation field) and interaction of LNS with “valuable cargo (VC)”.

Detection technique:

1. Aircraft emits PRS and transmits its current coordinates and time.
2. On VC side this information is received.
3. After reception of the values from at least 3–4 AC path points, VC computes mutual AC-VC coordinates in AV coordinates system.

Особенность построенной ЛСН в том, что она существует виртуально (все точки, по которым проводятся вычисления координат ЦГ, известны только в прошлом), то есть ЛСН синтезируется по допустимым замерам, а не существует фактически. Можно было бы направить на поиск и спасение ЦГ четыре ЛА, но в реальных условиях это слишком дорого, поэтому приемлемым для практики является решение, основанное на построении и использовании синтезированной ЛСН.

Характеристика локальных систем навигации

В качестве ЛСН может рассматриваться любая система определения собственного местоположения объекта по наблюдаемым параметрам навигационного поля, в которое он погружен. Таким образом, с понятием ЛСН связаны две сущности:

1. навигационный сигнал (поле);
2. датчик навигационного поля — датчик (нп).

В противовес ЛСН особым образом выделяются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). С другой стороны, от ЛСН ее отличает только граница области формирования системы.

Типы ЛСН

Различают:

- ЛСН на стационарном основании;
- ЛСН на подвижном основании;
- ЛСН смешанные;
- ЛСН обобщенные.

Имеются различия ЛСН и по среде применения: наземные, подземные, надводные, подводные, космические и т. п. Иногда можно отказаться от характеристики ЛСН как сети, делая акцент только на навигации.

Система единого времени (СЕВ)

Следующая характеристика ЛСН — временная нестабильность ее компонентов и датчиков пользователей. Система единого времени отвечает за время во всех точках ЛСН: на опорных станциях.

4. Then VC directs PRS signal at AC, transferring its own coordinates and its own accurate time.

5. Having received this data, AC heads for VC, takes it away and thereby rescues it.

The specifics of the developed LNS is in that it exists virtually (all the points which are used for computing VC coordinates are known only in the past), that is LNS is synthesized by permissible dimensions, and does not actually exist. One might direct four AC at VC detection and rescue, but in real conditions it is very expensive, so in practice an acceptable solution is the one based on construction and application of synthesized LNS.

Characteristic of Local Navigational Systems

It is possible to consider as LNS any system determining its own coordinates by observed navigation field parameters, in which it is submerged. Thus, the LNS concept is associated with the following two essences:



Если пользователь знает собственное время в шкале СЕВ, то, определяя время прихода сигнала с опорной станции (ОС), пользователь может определить расстояние от себя до нее. В плоской геометрии (наземная ЛСН) достаточно двух опорных станций для определения собственных координат в плоскости, в трехмерной ЛСН — трех. Это очень важное замечание, поскольку позволяет существенно снизить сложность вычислений и повысить точность расчетов координат за одинаковое с аналогом время. В том случае, если время пользователя не синхронизовано со временем ЛСН, то, измеряя псевдодалности до трех ОС и текущее время, можно восстановить (для плоской ЛСН) координаты пользователя и системное время в шкале СЕВ. Измерение четырех псевдодалностей до ОС и времени дает возможность восстановления собственных координат и собственного времени в трехмерной ЛСН.

Система связи

Другой важный вопрос связан с наличием (отсутствием) встроенной в ЛСН системы связи. Отсутствие встроенной системы связи предполагает априорное знание геометрии ЛСН и расписания работы излучателей ОС. Напротив, система связи позволяет проинформировать и пользователей, и другие составные части ЛСН об этих параметрах, что определяет возможность реализации любого типа локальной системы навигации. Естественно потребовать от этой системы связи, чтобы она не раскрывала факта и режимов работы ЛСН, то есть ее сигналы должны иметь тот же формат, что и сигналы ЛСН в режиме навигации.

Система синхронизации

Синхронизация ЛСН зависит от ее предполагаемой точности и предъявляемых к ней требований по кибербезопасности. Например, ЛСН «Локата» (2013 года выпуска, разработчик США) имеет открытую систему синхронизации, представляющую собой центральный генератор сигнала и приемники, находящиеся на опорных станциях, по сигналам с которых опорные

станции синхронизируются. Примеры таких систем синхронизации известны многие десятки лет, например, российская станция «Маяк». Нельзя утверждать, что она обладает высокой устойчивостью к естественным и, тем более, к организованным помехам. На пересеченной местности, покрытой растительностью, фаза сигнала, приходящего на опорную станцию, зависит от суммы парциальных составляющих, пришедших различными путями. В радиолокации такие составляющие имеют название помех многопутного распространения. Поэтому, даже в отсутствии организованной помехи, открытая система синхронизации может не обеспечить когерентности ЛСН. Перескоки фазы на опорных пунктах, связанные с ветровой нестабильностью, приводят к появлению значительных ошибок системы открытого типа. Организованные помехи, ложные (имитационные помехи системе синхронизации) легко выводят подобную ЛСН из строя. Но в отсутствие естественных и организованных помех, навигация по ее сигналам позволяет обеспечить погрешность определения собственных координат до долей фазы, то есть 5–10 см (усредненная на секундном интервале).

Типы сигналов, используемых в ЛСН

Первоначально в ЛСН использовались прямоугольные сигналы, генерация которых достаточно проста и хорошо освоена. Но попытки улучшения точности пеленгации объектов, например, в авиации или смежных областях [3–5], при наличии ограниченного типа сигналов, вынуждают разработчиков систем рассматривать сигналы других типов.

Инструментальная погрешность ЛСН-ПРОГРЕСС

Результаты экспериментальных исследований технологий ЛСН по определению инструментальной погрешности измерения местоположения пика КФ были любезно предоставлены Татарчуком И. А. и Григорьевым И. Д. На рис. 3 изображены пики корреляционных функций (КФ), на рис. 4 представлено увеличенное в 20 раз изображение. Между КФ интервал 20 мс, длина

1. Navigation signal (field);
 2. Navigation field (NF) sensor — sensor.
- Global navigation satellite systems (GNSS) stand out against LNS, though on the other hand, they differ from LNS only in the boundaries of the system forming area.

LNS types

- A distinction is made between:
- LNS with fixed base;
- LNS with mobile base;
- Mixed LNS;
- Generalized LNS.

LNS also differ in the application environment: ground, underground, above-water, underwater, space etc. Sometimes it is possible to give up LNS characteristic as a network, focusing only at navigational aspects.

Common Timing System (CTS)

The next LNS characteristic is temporal instability of its components and user’s sensors. Common timing system is responsible for time in all LSN

points: at reference stations. If the user knows his own time in CTS scale, then by determining the time of signal arrival from reference station (RS), the user may specify the distance from that station. In plane geometry (ground LNS) it is sufficient to use two reference stations to determine their own in-plane coordinates, in 3D LNS — three reference stations. This is a very important provision, because it makes it possible to sufficiently reduce computing complexity and to improve the accuracy of coordinates computing, spending the same time as the counterpart. If the user time is not synchronized with LSN time, then, by measuring pseudo-ranges to three reference stations and current time, it is possible to restore (for plane LNS) user’s coordinates and system time in CTS scale. Measuring four pseudo-ranges to reference stations and time enables restoring their own coordinates and time in 3D LNS.

Communication System

Another important issue is related to the presence (absence) of communication system embedded

into LNS. The absence of embedded communication system implies prior knowledge of LNS geometry and schedule of emitters operation at reference stations. Contrariwise, communication system permits informing users and other constituting parts of LNS on these parameters, which makes it possible to implement any type of local navigation system. It is natural to require that the communication system does not disclose the fact and the modes of LNS operation, meaning that its signals should have the same format as LNS signals in the mode of navigation.

Synchronizing System

LNS synchronization depends on its assumed accuracy and imposed requirements for cyber security. For example, LNS “Lokata” (issued in 2013, developed in USA) has an open synchronization system with central signal generator and receivers located at reference stations, by whose signals reference stations are synchronized. Examples of such synchronizing systems are well known for many decades, e.g., Russian station

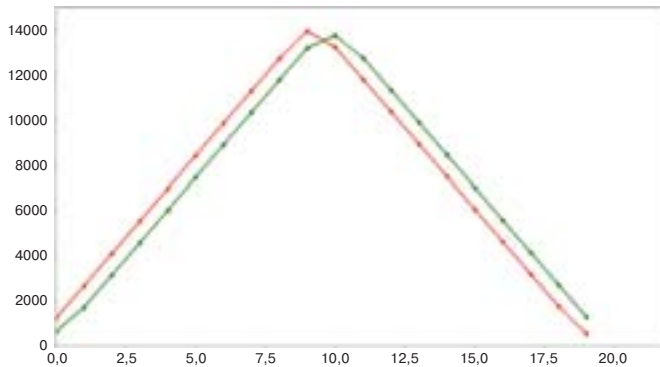


Рис. 3. Пики корреляционных функций (КФ)
Fig. 3. Spikes of correlation functions (CF)

КФ = 1024 мс, тактовая частота 1 МГц, СКО однократного измерения положения пика КФ — 0,1 нс.

Из представленных графиков следует, что пики КФ уменьшают амплитуду от функции к функции, то есть они реагируют на изменение частоты передатчика относительно частоты приемника. Из тех же графиков следует, что усредненная на секундном интервале СКО равна 3,3 пс.

Иллюстрация синтезированных локальных систем навигации

Основная задача: «Поиск и спасение объектов, в частности человека, на неконтролируемой территории»

Как отмечено выше, сложность ее решения заключается в том, что поисками объекта могут заниматься одновременно несколько сторон, не всегда дружественных друг другу. Объект заинтересован в положительном результате только для одной из них. Поэтому возникает основной вопрос: как построить схему поиска и спасения, позволяющую скрытно сообщить о собственном местоположении

“Mayak”. It is impossible to assert that it possesses high stability to natural interferences and, moreover, to jamming. On broken terrain overgrown with vegetation, the phase of signal arriving at the reference station depends on a sum of partial constituents that arrived by various paths. In case of radiolocation such constituents are called interferences of multipath propagation. Accordingly, even in the absence of jamming, an open synchronization system may fail to provide LNA coherence. Phase hopping at reference stations attributed to wind-dried instability results in the appearance of significant errors in the open type system. Jamming, false or simulated echo in the synchronization system easily disable such LNS system. But in the absence of natural interferences and jamming, navigation by its own signals makes it possible to provide error of its own coordinates detection up to the phase fractions, that is 5–10cm (averaged at one second interval).

Types of Signals Used in LNS

Originally, LNS used rectangular signals, whose generation is rather simple and well utilized.

However attempts to improve the accuracy of direction finding, for example, in aviation and neighbouring fields [3–5], in the presence of constrained type signals, enforce the system designers to examine other types of signals.

Instrumental Error of LNS-Progress

The results of LNS technologies experimental investigations into determination of correlation function of spikes position measurements instrumental error were kindly granted by Tatarchuk I. A. and Grigoriev I. D. Fig. 3 presents spikes of correlation function (CF), and Fig. 4 presents the respective image magnified 20 times. CF's interval is 20ms, CF length is 1024ms, clock frequency is 1MHz, root-mean-square error of CF spike position detection in case of single measurement is 0.1ns.

It follows from the diagrams that CF spikes reduce amplitude from one function to another, that is they respond to variations of transmitter frequency relative to receiver frequency. It also follows that averaged at one second interval root-mean-square error equals 3.3ns.

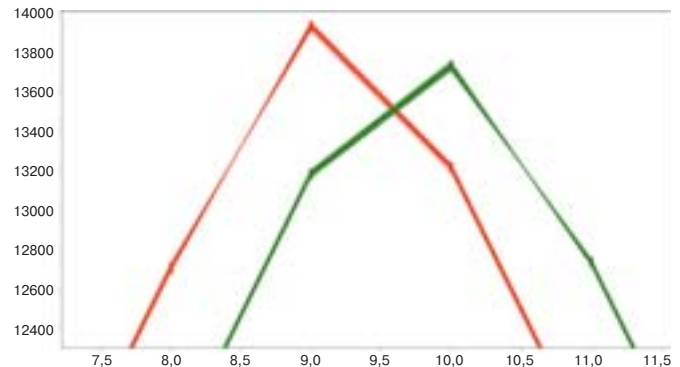


Рис. 4. Пики КФ (увеличенное в 20 раз изображение)
Fig. 4. Spikes of CF (image magnified 20 times)

дружественной ему стороне. Для поиска используется летательный аппарат (ЛА), а сам поиск осуществляется в радиодиапазоне с тем, чтобы обеспечить и всепогодность, и скрытность [6]. Наиболее подходящей является многопозиционная авиационная система (МПС) [7, 8], позволяющая определить координаты радиоконтрастного объекта с высокой точностью. Но количество ЛА в МПС, направляемых на операцию поиска и спасения, не превышает, как правило, одного (иначе дорого), а сигнал о спасении может быть послан только один раз, по тем же причинам — обеспечение скрытности. Отсюда вытекает необходимость использовать сложный псевдослучайный сигнал (ПСП). Сама схема может выглядеть следующим образом (рис. 5): ЛА движется по траектории и сканирует псевдослучайным сигналом поверхность в районе предположительного нахождения разыскиваемого объекта. Каждая ПСП маркирована моментом излучения (в шкале времени ЛА) и координатами нахождения ЛА. Объект принимает часть сигналов, излученных с ЛА, и знает моменты излучения ПСП и координаты ЛА, отнесенные к моменту излучения. Моменты получения ПСП он измеряет в своей шкале времени.

Illustration of Synthesized Local Navigation Systems

Main task: “Detection and rescue of objects, particularly human being, at uncontrolled territory”.

As noted above, the complexity of its solution lies in that several parties (not always friendly to one another) may be simultaneously involved in object detection. The object is interested in a positive result of only one party. That is why the main question is: how to construct the scheme of detection and rescue that will make it possible to covertly inform its own location to a friendly party. Aircraft (AC) is used for searching, and detection itself is conducted in radio frequency band with the aim of assuring both all-weather operation and covertness [6]. Most suitable is multi-positional aviation system (MPAS) [7, 8], enabling one to determine with high accuracy coordinates of radiocontrast object. But as a rule, the number of AC in MPAS, directed at detection and rescue operation, does not exceed one (otherwise it is expensive), and signal for

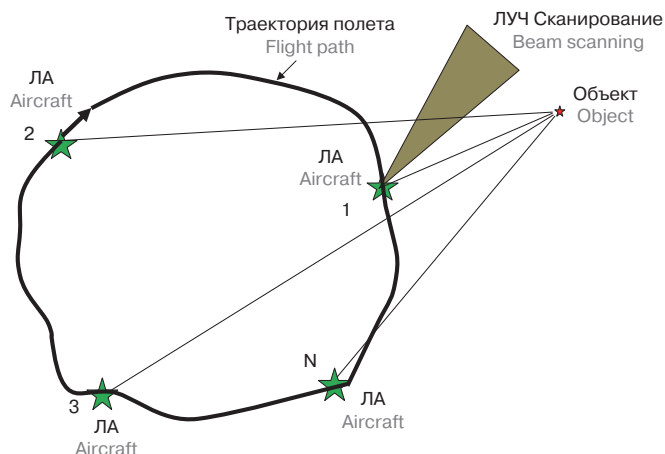


Рис. 5. Схема поиска и спасения
Fig. 5. The scheme of search and rescue

Объект измеряет моменты прихода ПСП, знает их моменты излучения и вычисляет разницу времен прихода ПСП, как если бы эти ПСП излучались одновременно.

Поскольку координаты точек $1 \div N$ известны (сообщались), то объект вычисляет собственное положение относительно геометрической фигуры, задаваемой точками 1, 2, 3, ..., N, то есть он теперь знает положение ЛА относительно себя. Если у него имеется компас, то он может определить направление на ЛА, после чего он посылает ему с помощью направленной антенны свою ПСП, сообщая о своих координатах, вычисленных им относительно системы точек $1 \div N$. ЛА принимает его ПСП, определяет момент ее получения, вычисляет расстояние до объекта. Уточняет его положение. Задача решена.

Иллюстрация второй части задачи поиска и спасения (передача сигнала на ЛА) приведена на рис. 6.

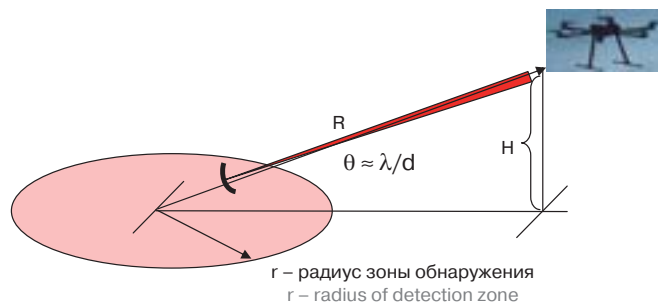


Рис. 6. Схема передачи сообщения на ЛА
Fig. 6. Diagram of message transmission to AC aircraft

ЛИТЕРАТУРА

1. «Противоугонный радиопоиск СФИНКС», 2000 http://www.autoreview.ru/new_site/year2000/n22/radiosfinks/radiosfinks.htm.
2. Мир науки и техники «Новая система навигации Locata будет в сотни раз точнее, чем GPS», 2011 <http://mirnt.ru/aviation/sistema-navigacii-locata>.
3. http://cde.my1.ru/publ/armija/mnogopozicionnaja_sistema_nabljudenija_mpsn_mera/2-1-0-189.
4. <https://www.aex.ru/news/2016/11/30/162964>.
5. А. Фиолентов. «Новые технические системы разведки воздушных целей», 2000, http://pentagonus.ru/publ/materialy_posvjashheny/2000_nastojashhij_moment/novye_tekhnicheskie_sistemy_razvedki_vozdushnykh_celej/122-1-0-1508.
6. Конфликтно-устойчивые радиоэлектронные системы. Методы анализа и синтеза. Под ред. С. В. Ягольников, Радиотехника, 2015.
7. Черняк В. С. Многопозиционные радиолокационные системы на основе ММО РЛС, Радиотехника, № 8, 2012.
8. <http://www.radiotec.ru/catalog.php?cat=jr4&art=11520>.
9. Кондратьев В. С., Котов А. Ф., Марков Л. Н. Многопозиционные радиотехнические системы. М.: Наука, 1973.

rescue may be sent only once, for the same reasons — to assure covertness. That is why it is necessary to use pseudo-random signal (PRS). The scheme itself may look the following way (see Fig. 5): The aircraft follows a certain trajectory and scans using pseudo-random signal the ground surface within the region of supposed location of the object being searched. Each PRS is marked by the time when it was emitted (in time scale of LNS) and by coordinates of AC location. The object being searched receives a part of signals emitted from the aircraft, and knows the time when PSR was emitted as well as AC coordinates assigned to the time when the signal was emitted. It measures the time of PRS receipt in its own time scale.

The object measures the time of PRS arrival, knows the time when they were emitted and computes the difference of PRS time arrival, as if all these PRS were emitted simultaneously.

Since coordinates of $1 \div N$ points are known (have been reported), the object computes its own position coordinates relative

to geometrical figure defined by 1, 2, 3, ..., N points, that is now it knows the aircraft position relative to itself. If it has a compass, it can determine the direction to the aircraft and after that it transmits by directional antenna its own PRS to the aircraft, reporting its own coordinates, computed relative to the system of $1 \div N$ points. The aircraft receives its PRS, determines the time of its arrival, and computes the distance to the object. Then it specifies its location. And the task is completed.

Fig. 6 illustrates the second part of search and rescue task (signal transmission to the AC).

REFERENCES

1. “Protivougonyi radiopoisk SFINKS”, 2000. http://www.autoreview.ru/new_site/year2000/n22/radiosfinks/radiosfinks.htm. (In Russian).
2. Mir nauki i tekhniki “Novaya sistema navigatsii Locata budet v sotni raz tochnee, chem GPS”, 2011. <http://mirnt.ru/aviation/sistema-navigacii-locata>. (In Russian).
3. http://cde.my1.ru/publ/armija/mnogopozicionnaja_sistema_nabljudenija_mpsn_mera/2-1-0-189.
4. <https://www.aex.ru/news/2016/11/30/162964/>.
5. A. Fiolentov. “Novye tekhnicheskie sistemy razvedki vozdushnykh tselei”, 2000, http://pentagonus.ru/publ/materialy_posvjashheny/2000_nastojashhij_moment/novye_tekhnicheskie_sistemy_razvedki_vozdushnykh_celej/122-1-0-1508. (In Russian).
6. Konfliktno-ustoichivye radioelektronnye sistemy. Metody analiza i sinteza. Pod red. S. V. Yagol'nikova, Radiotekhnika, 2015. (In Russian).
7. Chernyak V.S. *Mnogopozitsionnye radiolokatsionnye sistemy na osnove MIMO RLS*, Radiotekhnika, №8, 2012. (In Russian).
8. <http://www.radiotec.ru/catalog.php?cat=jr4&art=11520>.
9. Kondrat'ev V.S., Kotov A.F., Markov L.N. *Mnogopozitsionnye radiotekhnicheskie sistemy*. M.: Nauka, 1973. (In Russian).