

22. Rudakov, K. (1987). Completeness and universal constraints in the problem of correction heuristic algorithms classification. *Cybernetics*, 3, 106–109.
23. Petrov, S. O., Marchenko, I. O., Dibrov, B. O. (2015). The use of convolution operators in the tasks of edge detection. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4(78)), 27–31. doi:[10.15587/1729-4061.2015.56548](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56548)

Поступила (received) 08.01.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розробка програмно-математичного забезпечення для паралельної обробки розріджених матриць за допомогою технології OpenMP/ О. В. Мінько, К. Є. Золотько// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 4(1176). – С.44–49. – Бібліогр.: 23 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработка программно-математического обеспечения для параллельной обработки разреженных матриц с помощью технологии OpenMP/ О. В. Минько, К. Е. Золотько// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 4(1176). – С.44–49. – Бібліогр.: 23 назв. – ISSN 2079-5459.

The development of mathematical software for parallel processing of sparse matrices using OpenMP technology/ O. V. Minko, K. E. Zolotko//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 4 (1176). – P.44–49. – Bibliogr.: 23. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мінько Олег Владимирович – магістр, кафедра комп'ютерних технологій, Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, г. Дніпр, Україна, 49010; e-mail: minko.oleg@gmail.com.

Золотько Константин Евгеньевич – кандидат технічних наук, доцент, кафедра комп'ютерних технологій, Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, г. Дніпр, Україна, 49010; e-mail: zolt66@gmail.com.

Мінько Олег Владимирович – магістр, кафедра комп'ютерних технологій, Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: minko.oleg@gmail.com.

Золотько Константин Евгеньевич – кандидат технічних наук, доцент, кафедра комп'ютерних технологій, Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: zolt66@gmail.com.

Minko Oleh Volodymyrovych – master, department of computer technology, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Gagarina, 72, of the Dnipro, Ukraine, 49010; e-mail: minko.oleg@gmail.com.

Zolotko Konstantin Evgenievich – Ph.D., Associate Professor, Department of Computer Technologies, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Gagarina, 72, of the Dnipro, Ukraine, 49010; e-mail: zolt66@gmail.com.

УДК 656.212:681.3

Н. В. МОСКАЛЕЦ

МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ДОСТУПА В СИСТЕМЕ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Розглядаються питання організації просторово-часового доступу в системах мобільного зв'язку на основі адаптивної антенної решітки і алгоритмів просторово-часової обробки з оптимальною процедурою розрахунку вектора вагових коефіцієнтів. Проводиться оцінка ефективності адаптивної антенної решітки за обраним критерієм мінімального середньоквадратичного відхилення. Отримано результати коефіцієнта ступеня зменшення сумарних завад на виході адаптивної антенної решітки з оптимальними ваговими коефіцієнтами в сталому режимі та незмінній сигнально-завадовій обстановці.

Ключові слова: просторово-часовий доступ, адаптивна антенна решітка, вагові коефіцієнти, просторово-часова обробка.

Рассматриваются вопросы организации пространственно-временного доступа в системах мобильной связи на основе адаптивной антенной решетки и алгоритмов пространственно-временной обработки с оптимальной процедурой расчета вектора весовых коэффициентов. Проводится оценка эффективности адаптивной антенной решетки по выбранному критерию минимального среднего квадратического отклонения. Получены результаты коэффициента степени подавления суммарных помех на выходе адаптивной антенной решетки с оптимальными весовыми коэффициентами в установившемся режиме и неизменной сигнально-помеховой обстановке.

Ключевые слова: пространственно-временной доступ, антенная решетка, весовые коэффициенты, пространственно-временная обработка.

It is considered the analysis of methods organization space-time multiple access (SDMA) are in mobile communication.

Ability is shown on the Implementation of the given method is based on N-elements adaptive antenna array independently from second used purposing methods, something result attraction extended resource spatial-time parameters.

We studied a method of organizing SDMA for each subscriber station for access to the resources of the base station in a mobile communication system using the group receiving adaptive antenna array (AAA).

The proposed method consists in the formation of the individual distribution structure of the field received on the basis of the optimum evaluation procedure signal weight vector by the criterion of the minimum mean square deviation.

© Н. В. Москалец. 2016

The analysis of the effectiveness of SDMA on the basis of indicators characterizing the degree of suppression of interference and interference immunity for each of the received signals, which are allowed to evaluate the attenuation of useful signal when using space-time processing. The practical significance of the issues developed is derived estimates of the degree of suppression of aggregate interference to the output AAA with optimal weights in the steady state at a constant signal and noise conditions. Research results provide conditions for the development of scientific and technical advice for the implementation of methods of space-time with regard to access mobile communication systems.

Keywords: space-time multiple access, adaptive antenna array, coefficients of weights, the space-time processing.

Введение. Многопользовательский доступ к общему ресурсу телекоммуникационных систем обеспечивает максимальный количественный охват потребителей информационных услуг. Среди известных различают методы доступа с закрепленными ресурсами и методы представления ресурсов по требованию. Проблемы доступа к общему ресурсу базовой станции беспроводной телекоммуникационной системы реализуются на основе различения сигналов абонентских станций (АС). Для различения этих сигналов используются те или иные физические параметры. К числу таких различительных признаков относятся:

- временные параметры, когда устанавливается соответствующий порядок доступа: многостанционный доступ с временным разделением (МДВР). Наиболее часто используют методы со случайным множественным доступом (СМД), к числу которых относятся методы ALOHA, метод двойной экспоненциальной отсрочки (ВЕВ), древовидные методы и др.;

- частотные параметры, когда сигналы станций доступа различаются по частоте (МДЧР);

- структурные параметры, когда станции доступа используют широкополосные по частоте (ППРЧ) или времени (ШПС) структуры сигналов;

- пространственные или поляризационные параметры, когда сигналы станций доступа различают по их пространственным или поляризационным параметрам: (МДПР). Иными словами: сигналы станций различаются по углу прихода на базовую станцию, по их пеленгу, или по поляризации.

В настоящее время в мобильных системах уже внедрены методы TDMA, FDMA, CDMA. Они используются индивидуально или в различных сочетаниях. Пространственные методы доступа (SDMA) до настоящего времени являются предметом дальнейших исследований. Хотя сами пространственные параметры давно используются в задачах разнесенного приема, MIMO, при построении микро и фемтосот и др.

Наиболее простой, очевидной реализацией метода организации ПВД может быть использование на базовой станции многолучевой антенны, диаграмма направленности (ДН) которой образует веер лепестков. В пределах каждого из лепестков можно осуществлять прием сигналов АС, локализованных в выделенном пространстве, как это проиллюстрировано на рис. 1. Данная схема может быть, реализована, например, с помощью кольцевой антенной решетки (КАР) и соответствующей диаграммо-образующей схемы, например матрицы Батлера.

Такая схема является относительно простой, а соседние лучи (лепестки ДН КАР) достаточно хорошо развязаны между собой. Многолепестковая антенна (МЛА) отлично работает в условиях, когда известны азимуты на корреспондирующие станции, а прием их

сигналов осуществляется в пределах главного максимума выделенного лепестка ДН.

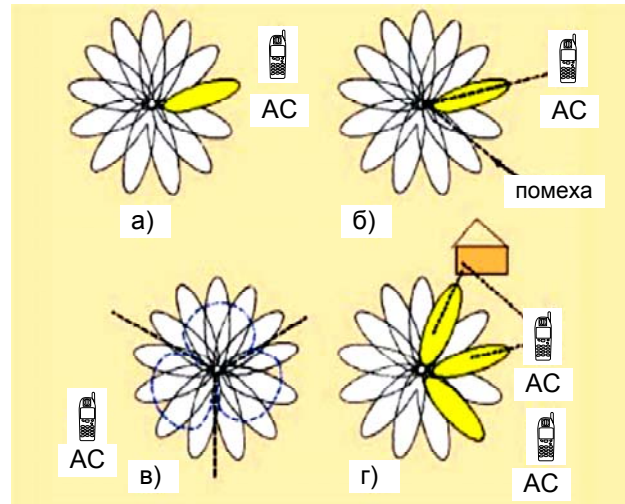


Рис. 1 – Варианты организации МЛА: а – с переключением лепестков; б – с адаптивным формированием ДН; в – с контурным формированием ДН; г – многолепестковая ДН с многостанционным приемом

Применение указанной схемы с фиксированными лепестками МЛА для связи с подвижными объектами системы мобильной связи не может считаться конструктивным, поскольку азимут АС часто изменяется и при этом будет происходить потеря связи из-за ухода сигнала АС за пределы максимума данного лепестка ДН. Кроме того, при переходе с одного лепестка на другой необходимо осуществлять соответствующие манипуляции с алгоритмом управления, подобную процедуре роуминга.

Таким образом, схема с фиксированными лепестками ДН МЛА для задач ПВД не подходит, требуется реализация ПВД с учетом динамики азимутальных параметров АС.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Во многих научных работах предпринималась попытка активного использования пространственных параметров сигналов для решения различных задач в том числе и пространственно-временных методов доступа [1, 2].

В работе [3] предлагается новая концепция кластерной множественного доступа с ортогональным разделением следующих поколений сотовых сетей. Предлагаемая концепция предусматривает использовать совместное кодирование антенны с целью усиления ортогональности SDMA лучей с целью повышения спектральной эффективности сигналов будущих сотовых сетей.

В работе [4] статье представлен краткий отчет о интеллектуальной антенной системе (SA) в контексте адаптивного формирования диаграммы направленно-

сти по критерию минимума среднеквадратического отклонения (LMS). Исследованы характеристики адаптивной антенны в присутствии компонентов многолучевого распространения, и нескольких корреспондентов, а так же возможности применения в сетях когнитивного радио с системой OFDMA

В работе [5] проводится оценка пространственной фильтрации для мобильной связи на основе обработки сигналов массива с алгоритмами оценок направления прихода сигнала (DOA) полученных волн от мобильных пользователей. Рассмотрена линейная антенная решетка на базовой станции, функционирующая в типичной ячеистой сотовой структуре.

Однако многие из посвященных данной тематике работ носили автономный, частный часто не связанный с общесистемными задачами мобильной связи характер.

В данном исследовании мы интегрируем задачи пространственно-временного доступа в общесистемную проблематику, с целью получения положительного эффекта от предлагаемого доступа и существенного роста производительности мобильной сети, экономии радиочастотного спектра, обеспечения высокой помехоустойчивости, электромагнитной совместимости и, соответственно, возможности предоставления качественных услуг потребителям информации.

Задачами проводимого исследования является анализ вариантов организации и возможностей построения системы пространственно-временного доступа совместно с адаптивной пространственно-временной обработкой принимаемых антенной решеткой (АР) сигналов применительно к системам мобильной связи и оценка её эффективности.

Концептуальные основы организации пространственно-временного доступа. То или иное свойство ААР достигается соответствующим выбором комплексных весовых коэффициентов (ВК) w_i , $i = 1, 2, \dots, N$, включенных на выходе приемных антенных элементов (АЭ) и перед общим сумматором (рис. 2).

С помощью адаптивного процессора ВК обеспечивают соответствующее формирование суммарной ДН и поляризационной диаграммы, т.е. ВК вместе с общим сумматором представляют собой диаграммообразующую схему.

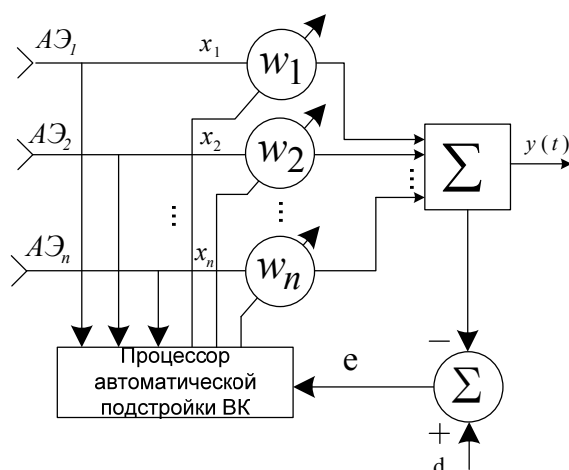


Рис. 2 – Включение ВК в ААР

В то же время определение назначения ВК можно интерпретировать как задачу формирования таких соотношений между принимаемыми N -реализациями полезного сигнала $S_i(t)$ N -антенных элементах, суммой J узкополосных анизотропных помех $\sum_{j=1}^J n_j(t)$ и шумом $v(t)$, которые после сложения на общем сумматоре позволяют обеспечить желаемое свойство обеспечить максимум отношения сигнал/(помеха+шум), минимум среднеквадратического отклонения принятого сигнала от заданного или другой критерий:

$$y(t) = \sum_{i=1}^N w_i x_i(t) \quad (1)$$

где

$$x_i(t) = s(t) + \sum_{j=1}^J n_{ij}(t) + v_i(t) \quad (2)$$

С помощью ВК формируются их векторы (ВВК):

$$W^T(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_N(t)) \quad (3)$$

В общем случае ВВК $W(t)$ должен обладать возможностью изменять как амплитуды, так и фазы принимаемых сигналов, т.е. он должен быть комплексным. Скорость этих изменений должна быть согласована со скоростью изменения сигнально-помеховой ситуации, а диапазон согласовывается с динамическим диапазоном изменений уровней сигналов и помех, а также фазовых соотношений в различных элементах адаптивной антенной решетки (ААР). Очевидно, идеальной является ситуация, когда скорость изменений ВВК бесконечно велика, а динамический диапазон изменений амплитудно-фазовых характеристик неограничен. Однако на практике исходя из возможностей технической реализуемости и других причин приходится ограничивать эти характеристики, что, вообще говоря, приводит к соответствующему снижению эффективности ААР. В этом смысле говорят об ААР с ограничениями.

В отличие от других проблем антенной техники, где конечным результатом решаемых задач является синтез ДН при различных ограничениях на конструкцию, габариты, спектральный состав сигналов и помех и другие параметры конечная цель использования ААР состоит в том, чтобы обеспечить необходимые качественные характеристики (максимизировать их) полезных сигналов на выходе антенны, т.е. получить выходное соотношение:

$$y(t) = y(w_i, t) = (w(t), x^*(t)) = W^T(t) x^*(t) = w_1(t)x_1(t) + w_2(t)x_2(t) + \dots + w_N(t)x_N(t) \quad (3)$$

где выражение в скобках обозначает скалярное произведение векторов, удовлетворяющее заранее вы-

бранному критерию; звездой обозначает комплексное сопряжение. При этом суммарная ДН ААР, как таковая, может вообще не рассматриваться, хотя как промежуточная характеристика она безусловно представляет интерес. Так, ДН ААР может быть получена с помощью скалярного произведения ВВК $W(t)$ на вектор $f(\theta)$:

$$F(\theta) = (W^T(t), f^*(\theta)), \quad (4)$$

где $f^T(\theta) = (f_1(\theta), f_2(\theta)e^{i\phi_{01}}, \dots, f_N(\theta)e^{i\phi_{N01}})$;

$f_i(\theta)$ – ненормированные ДН приемных элементов ААР;

ϕ_{i01} – фазы огибающей волны единичной амплитуды, отсчитываемые от фазы сигнала с выхода 1-го элемента (при $\phi_{i01} = 0$), зафиксированные на выходах приемных элементов за счет пространственных различий [6].

Важным свойством ААР является инвариантность некоторых критериев функционирования по отношению к суммарной ДН. Это имеет большое практическое значение, связанное с возможностью произвольного, в том числе и случайного, расположения антенных элементов. При этом отпадает необходимость применения жестких креплений, сокращается время развертывания и т.д.

В ААР число антенных элементов N может быть минимальным (например, $N \geq 2$) и выбирается исходя из ожидаемого количества воздействующих помех. Значение N в ААР рассматривается как число степеней свободы, поскольку именно оно определяет количество независимых формируемых нулей ДН, т.е. количество помех, которое способна подавить ААР с одним выходом, составляет $J \leq N - 1$.

Вместе с тем АЭ могут быть многократно использованы и на каждом из них может быть подавлено $N-1$ помех. Следует, однако, указать на то, что при этом кратно падает уровень принимаемого сигнала и отношение сигнал/шум.

Задачу подавления помех в ААР можно решать по-разному. Так, используя принцип разделения [7] можно сначала оценить θ_j , ($j = \overline{1, J}$) – направление прихода этих помех и их поляризацию, а затем решить задачу управления ВВК ААР и нахождения ее ДН и ПД с нулями, ориентированными в направлении прихода помех. Однако решение этой задачи достаточно сложно, связано с обращением матриц и это решение [8] удается найти далеко не для всякой ситуации. На практике применяется более конструктивное решение, основывающееся не на декомпозиции, а на непосредственном нахождении оценки ВВК $\hat{W}(t)$. В настоящее время известно несколько решений, различающихся: как выбранными критериями эффективности, так и предполагаемыми ограничениями. К наиболее распространенным критериям относятся:

– максимум отношения уровней полезного сигнала к сумме помех (МОСП) на выходе ААР;

– минимум среднего квадрата отклонения (МСКО) принятого сигнала от заданного эталонного $y_s(t)$ на выходе ААР;

– минимум мощности помех на выходе ААР (МВМ);

– максимум правдоподобия;

– различные другие модификации критериев.

Синтезируемые при этом алгоритмы функционирования ААР получаются из решения статистических задач. Среди всего многообразия решений можно выделить два основных направления, исторически первыми появились. Асимптотические решения, связанные с именами Ширмана, Хоуэлса, Эпплбаума, Уидроу и др., предполагают наличие гипотезы эргодичности сигнально-помеховой ситуации. Эти решения в большинстве своем основываются на нахождении оценки корреляционной матрицы (или ее обращения), характеризующей сигнально-помеховую ситуацию или других, например градиентных, процедурах в указанных рамках. В литературе по настоящее время основное внимание уделяется развитию именно этого направления [3].

Другое направление основано на предположении Марковской аппроксимации принимаемой реализации и динамике изменений ВВК. Отказ от эргодичности позволяет эффективно решать нестационарные задачи с использованием хорошо разработанного аппарата рекуррентной линейной или нелинейной фильтрации. С использованием этого подхода получено ряд результатов по пространственно-временной и поляризационно-временной обработке [9, 10].

Метод организации ПВД с использованием синтезируемой ДН многоэлементной антенны. Вопросы синтеза ДН достаточно хорошо представлены в классических работах [6]. Для N – элементной АР и межэлементных расстояний равных d/λ может быть синтезирована ДН имеющая вид

$$E(\beta) = \frac{\sin[Nn(d/\lambda)\sin\beta]}{N \sin[n(d/\lambda)\sin\beta]}. \quad (5)$$

При такой ДН, при направлении прихода сигнала по нормали к плоскости АР ширина главного лепестка β зависит от параметров АР ($\beta_{рад} = 0,886/(Nd/\lambda)$; $\beta_{град} = 50,8/(Nd/\lambda)$) и диапазона частот. На рис. 3 представлена структура алгоритма ПВД с синтезом многолучевой ДН.

Среди известных методов синтеза существуют методы ориентированные на получение необходимого АФР по элементам АР, методы фазового распределения и амплитудного распределения. Известны алгоритмы синтеза ДН: парциальных диаграмм, собственных функций, интеграла Фурье, эвристические и др. [6].

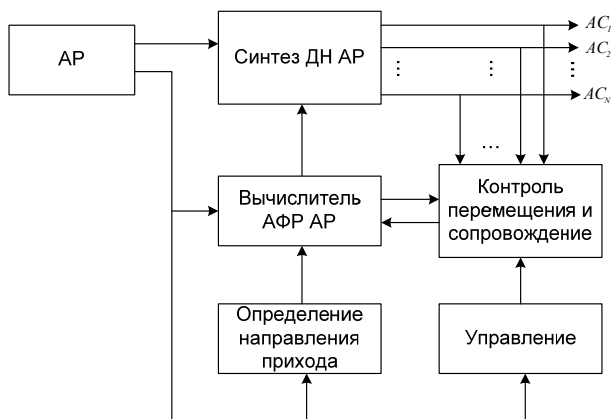


Рис. 3 – Структура алгоритма ПВД с синтезом многолучевой ДН

Достоинствами методов ПВД с синтезом ДН являются хорошо отработанные известные методики синтеза и высокая точность с ориентацией на статические сигнально-помеховые ситуации.

Недостатками методов ПВД:

- 1) большая вычислительная сложность, приводящая к временным и алгоритмическим затратам;
- 2) трудность использования метода в условиях динамической СПО, связанная с перемещением АС, а также при наличии значительной многолучевости;
- 3) критерии функционирования ориентированные на промежуточный результат;
- 4) проигрыш в отношении сигнал/помеха+шум (ОСПШ) при приеме по максимуму главного лепестка (ГЛ);
- 5) синтез ДН для N - направлений представляет собой различные алгоритмы каждый из которых решает свою задачу;
- 6) получение целостного выигрыша для N абонентов проблематично;
- 7) принятый в задачах синтеза ДН детерминированный подход приводят к заметным потерям при наличии случайной пространственно-поляризационной компоненты сигналов и помех.

Наличие данных недостатков не дает основание рекомендовать данный метод синтеза ДН при решении задач ПВД.

Метод ПВД с использованием адаптивных методов с пространственно-временной обработкой сигналов. Обнаружение и оценка многомерных сигналов, требует исчерпывающей априорной информации о пространственных и временных характеристиках сигналов, шума и помех. Однако фактически имеются сведения лишь о некоторых из этих характеристик, и поэтому недостающая информация должна быть получена в процессе функционирования системы. Широкое использование для этой цели методов адаптации привело к созданию систем адаптивной пространственно-временной обработкой сигналов (ПВОС), при синтезе которых применяется весь арсенал адаптивных методов: расширение числа оцениваемых параметров, использование итеративных процедур, эмпирических оценок и др. [11, 12].

Реализация сопоставления произвольно искаженного сигнала с произвольными характеристиками АР осуществимо только статистически за счет ис-

пользования матричного взвешивания входных данных, адаптирующегося к характеристикам принятого сигнала [13]. Это принято называть статистически оптимальным формированием ДН, где выбор весовых векторов базируется на статистике принятого сигнала на фоне действующего шума и помех. Весовые коэффициенты выбираются с целью оптимизации отклика формирователя ДН таким образом, чтобы выход решетки содержал минимальные шумовые составляющие и сигналы, поступающие с направлений, отличных от направления на источник полезного сигнала [14].

На рис. 4 представлена структурная схема оптимального алгоритма приема i -й АС с оценкой вектора ВВК.

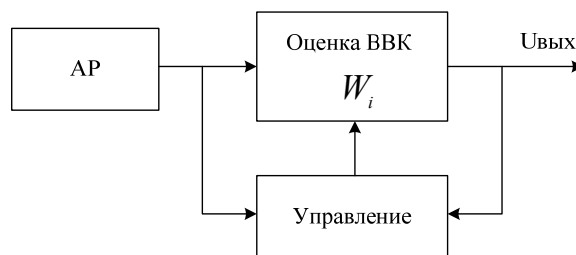


Рис. 4 – Структурная схема оптимального приема i -го сигнала АС

Для обеспечения ПВД при азимутальных перемещениях АС может быть предложена многолучевая антенная решетка (МЛАР) ДН, которой корректируется в соответствии с динамикой пространственных изменений принимаемых сигналов АС. В данном случае реализуется групповая ПВОС с большим объемом вычислений с ограничением на качество приема для решения электродинамической задачи (рис. 5).

Достоинство:

1. Нахождение группового решения одновременно для N -абонентских станций в одном алгоритме является более прямым, коротким, чем сумма решений по каждому вызывному сигналу N АС. Этому подтверждением является неравенство треугольника (неравенство Коши-Буняковского: $\|x\| \times \|y\| \geq |x, y|$).

2. Минимальное время сходимости к установившемуся режиму. Недостатком является высокое требование к вычислителю.

Конструктивным представляется метод основанный на организации индивидуального ПВД для каждого приема конкретной АС, при этом сигналы остальных АС следует рассматривать как мешающие. Таким образом, организуется одновременно N независимых каналов ПВОС соответствующих числу сигналов принимаемых АС, каждая из которых оптимизирована под конкретный сигнал АС. Для каждого конкретного абонента организовывается отдельный алгоритм ПВД.

Данный метод пространственно-временной обработки предполагает нахождение индивидуальной оценки вектора весовых коэффициентов (ВВК) W_i ориентированного для каждого i -го корреспондента. Алгоритм оценки W_i , $i = \overline{1, N}$ реализуется в виде i -параллельных процедур, выполненных на время сеанса связи с i -й АС (рис. 6)

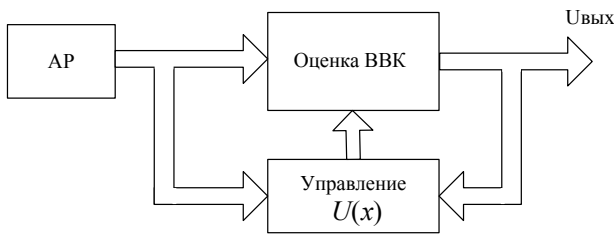


Рис. 5 – Структурная схема ПВД при оптимальной групповой обработке N -сигналов АС

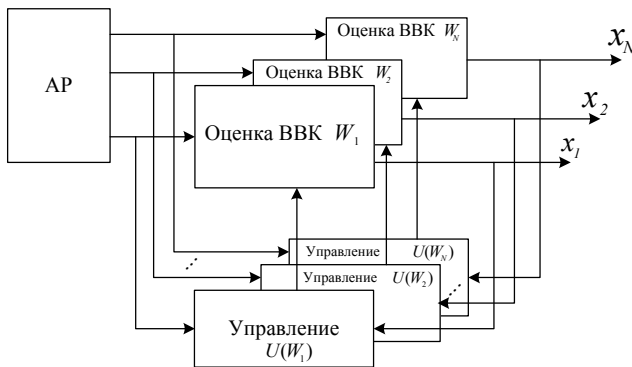


Рис. 6 – Структурная схема ПВД при оптимальном приёме N -сигналов АС с ПВД с нахождением индивидуальных значений оценки ВВК i -го сигнала АС

При таком методе ПВОС все сигналы других АС работающие в данном частотном канале представляют собой помехи для приема сигналов данной конкретной АС, обрабатываемой соответствующим ВВК W_i (рис. 7).

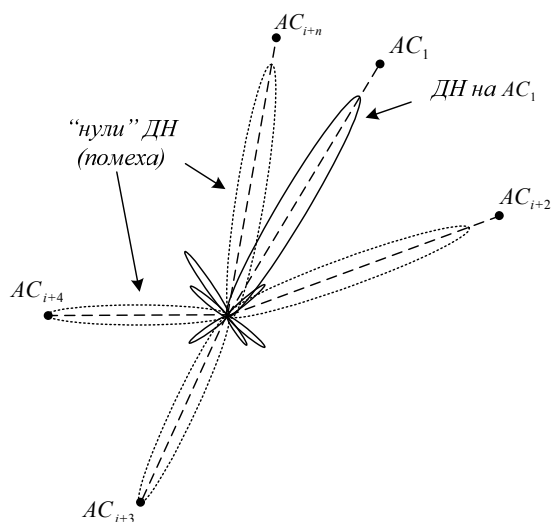


Рис. 7 – Вариант распределения уровней приема ААР при обработке принимаемых сигналов от АС

Достоинства методов ПВД с использованием индивидуальной оценки ВВК являются:

- оптимальность алгоритма;
- цельность алгоритма управления ВВК без необходимости получения промежуточных значений ДН и др.;
- возможность согласованности с динамикой сигнально-помеховых ситуаций;

- критерий эффективности ориентированные на качество приема сигналов, а не на значение ДН;
- нахождение группового решения для N АС в едином алгоритме;
- минимальное время сходимости в установившемся режиме состоящее из 2–6 итераций.

Недостатки:

- 1) одиночный алгоритм, ориентированный для приема одной АС;
- 2) возможность неустойчивой работы при плохой обусловленности матрицы и в целом задачи.

Критерии эффективности пространственно-временной обработки сигналов. Наиболее популярным при решении различных задач радиосвязи, радиолокации и др. является критерий минимума среднеквадратического отклонения (МСКО) предложенный Уидроу [15]. Его популярность объясняется не только тем, что синтезированные на базе МСКО алгоритмы имеют достаточно простую структуру, но и тем, что полученные решения хорошо вписываются в общие критерии, по которым функционируют мобильные телекоммуникационные системы. Другой важный критерий минимума вероятности ошибки $\min p_{ош}$ функционально связан с энергетическим соотношением сигнала и помехи. Для простейших ситуаций качество приема зависит от отношения сигнал/шум $p_{ош} = \phi(h^2)$, где $h^2 = P_c/P_{ш}$. В данном случае важным является тот факт, что при использовании МСКО остаточные результирующие помехи, после ПВОС, носят характер обновляющего процесса и могут быть аппроксимированы процессом типа «белого» шума. ПВОС – алгоритм функционирующий по критерию МСКО основывается на получении невязки $v(t)$. Самым простым решением может служить процедура сравнения принятой после взвешивания реализации $W^T(t)X(t)$ с эталонным сигналом y_3 :

$$v(t) = W^T X(t) - y_3(t) \tag{6}$$

Найдем последовательно квадрат этой невязки и ее математическое ожидание:

$$v^2(t) = W^T X(t) X^T(t) W(t) - 2y_3 W^T(t) X(t) + y_3^2 \tag{7}$$

$$M[v^2(t)] = W^T(t) R_{xx} W(t) - 2W^T(t) r_{xy} + \overline{y_3^2(t)} \tag{8}$$

где r_{xy} – вектор ковариации между вектором принятых сигналов и желаемым эталонным сигналом,

$$r_{xy} = (x_1(t)y_3(t); x_2(t)y_3(t); \dots; x_N(t)y_3(t)) \tag{9}$$

где R_{xx} – корреляционная матрица сигналов, принятых ААР, $R_{xx} = \overline{X(t)X^T(t)}$.

Найдем минимум невязки из выражения (7). В данном случае он будет единственным, поскольку

функция (7) является квадратичной относительно $W(t)$, а матрица R_{xx} – положительно определена. Приравнявая градиент (7) к нулю, найдем минимальное ее значение;

$$dv^2/dW(t) = \nabla \omega(\overline{v^2(t)}) = 2R_{xx}W(t) - 2r_{xy} = 0 \quad (10)$$

$$\hat{W}_{opt} = R_{xx}^{-1}r_{xy} \quad (11)$$

Выражение (11) является решением векторно-матричного уравнения Винера – Хопфа. При этом оптимальная ДН ААР может быть вычислена с помощью выражения (4).

Уравнение (11) можно представить и в другом виде, если положить, что эталонный сигнал $\bar{y}_3 = S(t)$. Тогда из (3) получим

$$\hat{W}_{opt}(t) = sR_{xx}^{-1}V \quad (13)$$

где

$V^T = (1, e^{j\theta_1}, e^{j\theta_2}, \dots, e^{j\theta_{N-1}})$ – вектор фазовых набегов, отсчитываемых от 1-го элемента ААР, входящий в выражение (4).

С учетом равенства

$$r_{xy} = E\{x(t)y_3(t)\} = sV(t) \text{ получим}$$

$$\hat{W}_{opt}(t) = sR_{xx}^{-1}V(t) \quad (14)$$

С помощью данного критерия могут быть разработаны процедуры, имеющие рекуррентную форму, в частности процедуры стохастической аппроксимации, линейной или нелинейной фильтрации, процедуры

Калмана-Бьюси, в том числе методы рекуррентного обращения корреляционной матрицы.

Анализ эффективности ААР, выполненных по критерию МСКО. Для практических целей большой интерес представляет анализ степени подавления суммарных помех на выходе ААР с оптимальными весовыми коэффициентами в установившемся режиме при неизменной сигнально-помеховой обстановке.

Такая ситуация типична для случая приема полезных сигналов i -й АС при наличии мешающих воздействий от других АС. Поэтому анализ эффективности ААР проведем путем сравнения соответствующих соотношений сигнал/(помеха + шум) на входе и выходе решетки. Для анализа выберем линейный алгоритм ААР с оценкой ВВК по формуле (11).

Анализ эффективности ПВОС будем проводить по следующим двум показателям:

$$\eta_0(t) = \frac{W^T(t)R_{ss}W(t)/W^T(t)R_{rr}W(t)}{W^T(0)R_{ss}W(0)/W^T(0)R_{rr}W(0)} \quad (15)$$

$$\eta_i(t) = \frac{W^T(t)R_{ss}^{(i)}W(t)/W^T(t)R_{rs}^{(i)}W(t)}{W^T(0)R_{ss}^{(i)}W(0)/W^T(0)R_{rs}^{(i)}W(0)} \quad (16)$$

где $W(t)$ – значение ВВК после адаптации;

$W(0)$ – значение ВВК до адаптации;

$R_{ss} = E\{S_n(t)S_n^T(t)\}$ – КМ – сигналов;

$S_n(t) = [S_{n1}(t), S_{n2}(t), \dots, S_{nl}(t)]$ – суммарный вектор напряжений сигналов на выходе элементов ААР;

$R_{ss}^{(i)} = E\{S^{(i)}(t)S^{(i)T}(t)\}$ КМ i -го сигнала;

$R_{rs}^{(i)} = E\{[P(t) + S^{(-i)}(t)][P(t) + S^{(-i)}(t)]^T\}$ – КМ

помех и всех сигналов кроме i -го; $i = \overline{1, I_c}$.

Показатель (15) является общепринятым при анализе эффективности ПВОС [10, 11] и характеризует степень подавления помех (коэффициент помехозащиты) при использовании методов ПВОС. Показатель (16) характеризует, коэффициент помехозащиты для каждого из сигналов и позволяет оценить ослабление полезных сигналов при применении ПВОС.

Рассмотрим вначале значения показателей эффективности из выражений (15), (16) при воздействии одной ($J = 1$) сосредоточенной узкополосной помехи $n(t)$ и шума $v(t)$. Численные значения коэффициентов $\eta_0(t)$ и $\eta(t)$ получим для различных уровней сигналов и помех, а также углов прихода вводной плоскости X . Очевидно, для плоскости Y результаты будут аналогичны. Направление прихода сигнала выберем $\theta_s = 0$.

На рис. 8-10 представлены графики зависимостей коэффициентов $\eta_0(t)$ и $\eta(t)$ от значения разницы угла направлений прихода сигнала и помехи $\Delta\theta^0$ для различного числа антенных элементов N . Из анализа зависимостей можно видеть, что с увеличением числа N значения коэффициентов $\eta_0(t)$ и $\eta(t)$ существенно возрастают.

При этом теоретически могут быть получены значительные превышения уровней подавления помех по отношению к сигналу при различных направлениях их прихода θ_n и θ_s , достигающие 50 дБ и более (рис. 8). Однако при любом числе N характерно снижение всех выбранных коэффициентов эффективности с приближением направления прихода помехи θ_n к сигналу θ_s (при $(\theta_n - \theta_s) \rightarrow 0$), что можно интерпретировать как «ослепление» ААР. С увеличением уровня помех по сравнению с шумом $P_n/P_u = 10$ дБ и $P_n/P_u = 100$ (рис. 9) показатель $\eta(t)$ растет, что объясняется точностью оценки значений $\hat{W}_i(t)$.

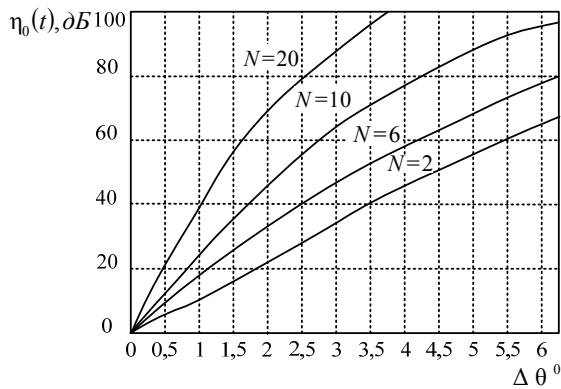


Рис. 8 – Графики зависимостей коэффициента подавления помех $\eta_0(t)$ от значения различия угла прихода сигнала и помехи $\Delta\theta$

В данном случае обработка способствует уменьшению относительного уровня помехи на выходе ААР, хотя абсолютное значение ее, являющееся одним из компонентов шума наблюдения V_n , увеличивается за счет роста дисперсии ошибки оценки $K_{ij}(t)$ (рис. 9)

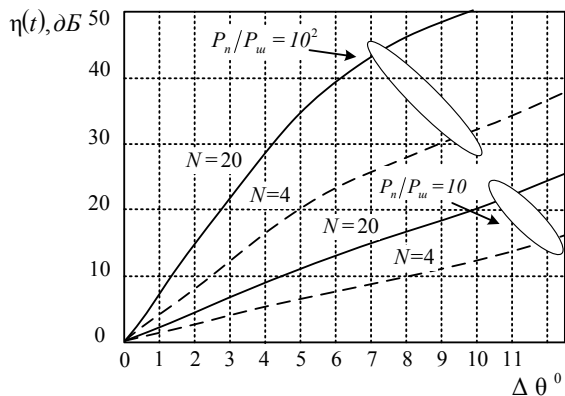


Рис. 9 – Графики зависимостей коэффициента помехозащиты $\eta(t)$ от значения различия угла прихода сигнала и помехи $\Delta\theta$

На рис. 10 представлены графики $\eta(t)$ для случая воздействия двух помех $n^{(1)}(t)$ и $n^{(2)}(t)$ в зависимости от изменения набавления прихода одной из них при фиксированном направлении другой ($\theta_s = 5^\circ$). Графики, приведенные на рис. 10, отличаются от изображенных на рис. 9, тем, что при совпадении направлений прихода помех ($\theta_1 = \theta_2 = 5^\circ$) отмечается увеличение эффективности ААР на 10-15 дБ. В данном случае воздействие нескольких помех, приходящих с одного и того же направления, воспринимается как воздействие одной помехи с суммарной мощностью $P_{n\Sigma} = P_{n1} + P_{n2}$. То есть воздействие нескольких помех, приходящих с различных направлений ($\theta_{n1} \neq \theta_{n2}$), приводит к большим потерям по сравнению со случаем воздействия одной помехи суммарной мощности.

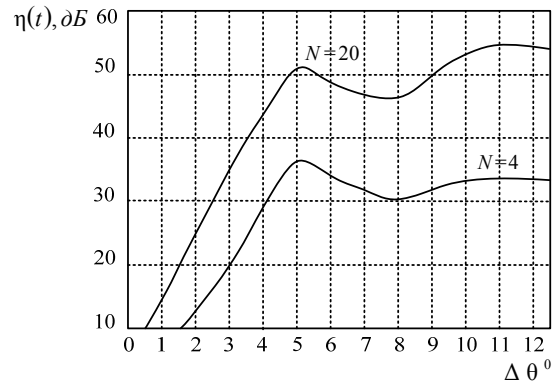


Рис. 10 – Графики зависимостей коэффициента помехозащиты $\eta_0(t)$ от значения различия угла прихода сигнала и помехи $\Delta\theta$

Численные значения коэффициентов (11), (15) и (16) получены без учета технологических погрешностей антенных систем, конечной развязки между антенными элементами ААР и других ограничений, встречающихся на практике. Все эти ограничения соответствующим образом снижают эффективность ААР. Поэтому значения приведенных показателей можно рассматривать как потенциально возможные.

Выводы

1. Пространственно временной доступ в системах мобильной связи может быть реализован на существующей технической и технологической базе независимо от других используемых методов, что является результатом привлечения дополнительного ресурсного множества пространственно-временных параметров. Методы пространственно-временного доступа АС к ресурсам базовой станции (БС) основываются на использовании алгоритмов пространственно-временной обработки принимаемых сигналов, реализуемых на основе N -элементных адаптивных антенных решетках.

2. Проведен обзор наиболее популярных методов синтеза ААР, различающихся как назначением, так и критериями эффективности функционирования ААР. В основе всех методов положена оценка комплексного вектора весовых коэффициентов, включенных на выходе АЭ антенной решетки, включаемых в трактах приема каждого АЭ и управляемых по алгоритмам МСКО, МВМ, МОСП.

3. Суть задачи ПВД каждой из АС к ресурсам БС состоит в групповом использовании приемной антенной решетки, при котором для каждой из АС формируется индивидуальное распределение структуры принимаемого поля сигнала с помощью выбора ВВК W_i . Таким образом, одновременно формируется столько вариантов распределений, сколько на данный момент принимается сигналов АС. Каждое из этих распределений обеспечивает максимально удачное соотношение сигнал/помеха+шум для сигнала принимаемой АС и установления нулевых уровней приема для прочих АС.

4. Анализ качества ПВД проведен по критериям уровней подавления прочих излучений при приеме

сигнала АС. Из графиков следует, что эти уровни теоретически могут достигать значительных величин: 40-60 дБ и более. Реальные уровни очевидно следует ожидать на уровне теплового шума, т.е. на уровне 20-27 дБ.

5. Анализ эффективности задач ПВД и ПВОС показывает, что при близких по азимуту приема АС или при совпадении этих азимутів возникает эффект “ослепления” ААР. Данный эффект может быть преодолен различными методами, к числу которых относятся пространственно-поляризационные методы, процедурами случайного конкурентного доступа: АЛОНА, ВЕВ, древовидными алгоритмами и др. Качество обработки возрастает пропорционально числу АЭ. При реализации АР на БС для ПВД число АЭ следует выбирать от 20 единиц.

Список литературы:

1. Стрелковская, И. В. Сплajn-аппроксимация диаграммы направленности антенны базовой станции сотовой сети [Текст] / И. В. Стрелковская, Э. А. Сукачѳ, А. О. Макоганюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Том 2. – № 2(50). – С. 4–8. Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1723/1620>
2. Хлапонин, Ю. И. Формирование диаграммы направленности антенных систем технологии ММО сети LTE [Текст] / Ю.И. Хлапонин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Информационно-управляющие системы. – 2015. – Том 1. – № 9(73). – С. 23–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.37375
3. Shree, K. Sh. Multiple Access Techniques for Next Generation Wireless: Recent Advances and Future Perspectives [Text] / K. Sh. Shree, M. Patwary, S. Chatzinotas // EAI Endorsed Transactions on Wireless Spectrum. – 2016. – № 2(7). – P. 151002. doi:10.4108/eai.19-1-2016.151002
4. Rupal, S. Performance Analysis of LMS Adaptive Beamforming Algorithm [Text] / S. Rupal, Mr. R. Mohan, Mr. S. Sharma // International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering. – 2013. – Vol. 4(5). – P. 1377–1381.
5. Prasanna kumar, A. M. Performance Analysis of Adaptive DOA Estimation Algorithms For Mobile Applications [Text] / A. M. Prasanna kumar, Dr. K. Ramesha // International Journal of Engineering Research and Applications. – 2015. – Vol. 5(7). – P. 68–73.
6. Марков, Г. Т. Антенны [Текст]: Учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: «Энергия», 1975. – 528 с.
7. Поповський, В. В. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем [Текст] / В. В. Поповський, С. О. Сабурова, Ю. Ю. Коляденко та ін. / За загальною редакцією В. В. Поповського. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
8. Popovskij, V. Control and adaptation in telecommunication system: Mathematical foundations [Text] / V. Popovskij, A. Barkalov, L. Titarenko. USA: Springer Science & Business Media, 2011. – Vol. 94. doi:10.1007/978-3-642-20614-6
9. Родимов, А. П. Статистическая теория поляризационно-временной обработки сигналов и помех [Текст] / А. П. Родимов, В. В. Поповский. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
10. Марчук, Л. А. Пространственно-временная обработка сигналов в линиях радиосвязи [Текст] / Л. А. Марчук. Л.: ВАС, 1991. – 136 с.
11. Монзинго, Р. А. Адаптивные антенные решетки. Введен в теорию [Текст] / Р. А. Монзинго, Т. У. Миллер. М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
12. Кремера, И. Я. Пространственно-временная обработка сигналов [Текст] / Под ред. И. Я. Кремера. М.: Радио и связь. – 1984. – 224 с.
13. Баланис, К. А. Введение в смарт-антенны [Текст] / К. А. Баланис, П. И. Иоанидес. Москва: Техносфера, 2012. – 201 с.
14. Поповский, В. В. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах [Текст]: учебник / В. В. Поповский, В. Ф. Олейник. Харьков: СМІТ, 2011. – 362 с.
15. Уидроу, Б. Адаптивная обработка сигналов [Текст] / Б. Уидроу, С. Стирнз. М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.

Bibliography (transliterated):

1. Strelkovskaja, I. V., Sukachjov, Je. A., Makoganjuk, A. O. (2011). Splajn-approximacija diagrammy napravlenosti anteny bazovoj stancii sotovoj seti. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2/2(50), 4–8. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1723/1620>
2. Khlaponyn, Yu. Y. (2015). Formirovanye dyahrammy napravlenosti an-tennykh system tekhnolohyy MIMO sety LTE. East-ern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/9 (73), 23–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.37375
3. Sharma, S. K., Patwary, M., Chatzinotas, S. (2016). Multiple Access Techniques for Next Generation Wireless: Recent Advances and Future Perspectives. EAI Endorsed Transactions on Wireless Spectrum, 2(7), 151002. doi:10.4108/eai.19-1-2016.151002
4. Rupal, S. Mr. Mohan, R., Mr. Sharma, S. (2013). Performance Analysis of LMS Adaptive Beamforming Algorithm. International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering, 4(5), 1377–1381.
5. Prasanna kumar, A. M., Dr. Ramesha, K. (2015). Performance Analysis of Adaptive DOA Estimation Algorithms For Mobile Applications. International Journal of Engineering Research and Applications, 5(7), 68–73.
6. Markov, G. T., Sazonov, D. M. (1975). Antenny. Moscow: «Energiya», 528.
7. Popovs'ky'j, V. V., Saburova, S. O., Kolyadenko, Yu. Yu., at. al. Eds. Popovs'ky'j, V. V. (2006). Matematy'chni osnovy teoriiy telekomunikacijny'h sy'stem. Kharkiv: TOV «Kompaniya SMIT», 564.
8. Popovskij, V., Barkalov, A., Titarenko, L. (2011). Control and Adaptation in Telecommunication Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer Science & Business Media, 94. doi:10.1007/978-3-642-20614-6
9. Rodimov, A. P., Popovskij, V. V. (1984). Statisticheskaja teorija poljarizacii-vremennoj obrabotki signalov i pomeh. Moscow: Radio i svjaz', 272.
10. Marchuk, L. A. (1991). Prostranstvenno-vremennaja obrabotka signalov v liniyah radiosvjazi. Leningrad: VAS, 136.
11. Monzingo, R. A., Miller, T. U. (1986). Adaptivnye antennye reshetki. Vveden v teoriju. Moscow: Radio i svjaz', 448.
12. Eds. Kremera, I. Ja. (1984). Prostranstvenno-vremennaja obrabotka signalov. Moscow: Radio i svjaz', 224.
13. Balanis, K. A., Ioanides, P. I. (2012). Vvedenie v smart-antenny. Moscow: Tehnosfera, 201.
14. Popovskij, V. V., Olejnik, V. F. (2011). Matematicheskie osnovy upravlenija i adaptacii v telekommunikacionnyh sistemah. Khar'kov: SMIT, 362.
15. Uidrou, B., Stirnz, S. (1989). Adaptivnaja obrabotka signalov. Moscow: Radio i svjaz', 440.

Поступила (received) 14.01.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Методи організації просторово-часового багатостанційного доступу в системі мобільного зв'язку/ М. В. Москалець// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 4(1176). – С.49–58. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

Методи організації просторово-часового множинного доступу в системі мобільної зв'язи/ Н. В. Москалец// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 4(1176). – С.49–58. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

The methods of spatial-time multiple access in mobile communication system/ M. V. Moskalets// Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 4 (1176). – P.49–58. – Bibliogr.: 15. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Москалец Микола Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри телекомунікаційних систем, пр. Науки, 14, м Харків, Україна, 61166; е-пошта: mykola.moskalets@nure.ua.

Москалец Николай Вадимович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры телекоммуникационных систем, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: mykola.moskalets@nure.ua.

Moskalets Mykola Vadymovych – candidate of technical sciences, associate professor, Kharkov National University of Radioelectronics, associate professor of the department of telecommunication systems, avenue of Science, 14, Kharkov, Ukraine, 61166; e-mail: mykola.moskalets@nure.ua.

УДК 005.8:902.034

А. В. НАДТОЧИЙ

МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ПРОЕКТАХ ГЛИБОКОВОДНИХ АРХЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Виконано аналіз існуючих моделей управління ризиками при проведенні глибоководних досліджень з використанням ненаселених підводних апаратів. На підставі виконаних досліджень розроблені моделі управління ризиками в проектах глибоководних археологічних досліджень, які пов'язані з погодними та гідрологічними умовами в районі досліджень, а також технологічним забезпеченням. Зниження вірогідних збитків в запропонованих моделях досягається шляхом мінімізації вартостей носія підводного апарату, підводного апарату та додаткового обладнання і послуг у відповідності до району та вибраної технології досліджень.

Ключові слова: управління ризиком проекту, моделювання, підводна археологія, телекерований ненаселений підводний апарат.

Выполнен анализ существующих моделей управления рисками при проведении глубоководных исследований с использованием необитаемых подводных аппаратов. На основании выполненных исследований разработаны модели управления рисками в проектах глубоководных археологических исследований, связанных с погодными и гидрологическими условиями в районе исследований, а также технологическим обеспечением. Снижение возможных убытков в предложенных моделях достигается путем минимизации стоимости носителя подводного аппарата, подводного аппарата и дополнительного оборудования и услуг в соответствии с района и выбранной технологии исследований.

Ключевые слова: управление риском проекта, моделирование, подводная археология, телеуправляемый необитаемый подводный аппарат.

The analysis of existing risk management models at underwater works using marine robotics is conducted. Leading role of underwater remotely operated vehicle in underwater archaeological research is shown. The structure of risk management model in underwater archeology projects related to weather and hydrological conditions in the investigated area is developed. The basis of the model is selection process of timing of deep archaeological researches, which are favorable for meteorological and hydrological conditions and satisfy the conditions to ensure the minimum cost of the project by defining rational terms of attracting, underwater remotely operated vehicles, vessels and their crews. The structure of risk management model is developed for risks associated with technological support of underwater archaeological research. The initial data for the model is the task to conduct archaeological research, geographic coordinates and its timing. The key parameters of the model are information about characteristics of investigated artifacts, their value for classification features. The model assumes a sequence of iterative processes in pre-development of technology for underwater archaeological research, as well as determining required characteristics of robotics, support vessels and additional equipment on its basis.

Keywords: project risk management, modeling, underwater archeology, underwater remotely operated vehicle.

Вступ. Результати виконання проектів суттєво залежать від ефективності розробленої і прийнятої системи проектного менеджменту, яка впливає на організаційне та техніко-технологічне забезпечення проектів, їх вартість, якість та терміни виконання [1, 2].

Досвід управління проектами показує, що в більшості випадків фактор предметного поля проекту потребує вдосконалення або розробки нових методів та моделей управління ризиками, які враховують особливості цільової спрямованості проектів [3, 4].

Підводна археологія, яка базується на використанні телекерованих ненаселених підводних апаратів (НПА), інтенсивно розвивається у провідних морських країнах світу, а також за останні роки почала за

стосовуватись в Україні [5–9]. Її застосування забезпечує наукові дослідження підводної культурної спадщини та, разом з тим, як і всі глибоководні проекти, супроводжується значною кількістю ризиків [10–13]. Ці обставини актуалізують потребу вирішення низки питань теоретичного і прикладного характеру їх ідентифікації, якісного та кількісного аналізу, створення моделей та механізмів управління ними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На теперішній час існує велика кількість методологій управління проектами, в рамках яких питанням управління ризиками приділяється значна увага. При цьому, визначені в них моделі носять інтеграційний характер і потребують їх диференціації та удосконалення. При

© А. В. Надточий. 2016