

**ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук, начальника сектора АО «Концерн «Созвездие» Сличенко Михаила Павловича на диссертацию Ле Ван Донг «Алгоритмы комплексирования информации в распределенных радиофизических системах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика»

**Актуальность темы диссертационного исследования.** В настоящее время при бурном развитии различных коммуникационных систем особое внимание уделяется разработке и применению инновационных технологий, основанных на использовании беспроводных сенсорных систем (БСС). Беспроводная сенсорная система состоит из множества распределённых миниатюрных датчиков (сенсоров), предназначенных для отслеживания физических природных или искусственных явлений или условий окружающей среды, центрального узла принятия решения, а также исполнительных устройств обеспечения связи между ними. Широкое применение БСС в разных сферах деятельности (промышленность, робототехника, жилищно-коммунальное хозяйство, охрана, мониторинг окружающей среды и пр.), обусловлено их высокой гибкостью, расширенным охватом наблюдения, надежностью, мобильностью и энергетической эффективностью.

При мониторинге и охране одной из основных задач, решаемых беспроводной сенсорной системой, является задача обнаружения. При этом каждый сенсор выносит свои локальные решения о наличии или отсутствии объекта, затем эти решения через радиоканал передаются в центральный узел, в котором и реализуется совместная обработка принятых данных и выносятся окончательное решение на основе решающего правила. Известные к настоящему времени методики синтеза и анализа алгоритмов обнаружения БСС на практике не всегда удовлетворяют возрастающим требованиям к эффективности применения этих систем. В частности, совместная обработка данных, отправляемых локальными сенсорами в ЦУ, обычно производится без учета многих особенностей, присущих различным элементам системы. Действительно, задача формирования оптимальных решающих правил принятия решения весьма усложняется, если учитывать всю совокупность факторов, таких, как влияние шума, помех, степень надежности сенсоров, климатические и погодные условия среды распространения и т. д. Кроме

того, в существующих литературных источниках практически отсутствует точный анализ эффективности существующих алгоритмов: для вычисления показателей эффективности принятия решения системой обычно используются либо аналитические выражения, полученные приближенно на основе центральной предельной теоремы, либо метод компьютерного моделирования.

В связи с этим, тема диссертационной работы Ле Ван Донг, направленная на разработку теоретических основ построения алгоритмов распределенного обнаружения беспроводной сенсорной системой, а также на совершенствование методов анализа алгоритмов совместной обработки информации в подобной системе с учетом особенности функционирования ее элементов, в том числе локальных сенсоров, канала связи и центрального узла, представляется *актуальной*.

**Степень обоснованности научных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Представленные в диссертационной работе автором научные результаты следует признать в достаточной степени обоснованными. В частности, с целью подтверждения достоверности полученных результатов и работоспособности синтезируемых алгоритмов проведены экспериментальная проверка и их сравнительный анализ с результатами известных работ.

*Обоснованность* полученных результатов автором определяется корректным использованием основных методов статистической радиофизики, в том числе методов теории проверки статистических гипотез, метода максимального правдоподобия, методов компьютерного моделирования на ЭВМ. На основе применения метода интерполяции получены коэффициенты пропускания излучения водяным паром и углекислым газом с помощью таблиц Пассмана и Лармора. Для математического описания контура охраняемых объектов применялся метод геометрического моделирования с использованием составных кривых Безье.

По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, из них 5 работ опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертационных работ, 1 работа в издании, включенном в глобальные индексы цитирования Scopus и Web of Science. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 4 международных и всероссийских конференциях.

**Новизна научных результатов и положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

*Научная новизна* результатов диссертации, выносимых на защиту, заключается в следующем.

1. Предложены оптимальные алгоритмы распределенного обнаружения с учетом характеристик эффективности различных элементов БСС, включая локальные сенсоры и канал радиосвязи, в том числе при неодинаковых характеристиках эффективности отдельных сенсоров. Впервые найдены точные простые рекуррентные выражения для характеристик эффективности (вероятности ошибок первого и второго рода всей системы) синтезированных алгоритмов.

2. Впервые проведен анализ влияния географических и климатических условий окружающей среды на эффективность обнаружения объектов в БСС с использованием датчиков звукового, вибрационного и теплового типа.

3. Предложены новые алгоритмы распределённого обнаружения цели на контуре протяженных объектов в случае неидеального канала связи, как при известном положении цели, так и не известном ее положении.

4. Учитывая степень надежности сенсоров, впервые выполнены статистический синтез и анализ алгоритмов распределенного обнаружения с учетом вероятности выхода из строя сенсоров. Получены простые точные аналитические выражения для характеристик их эффективности. Синтезированные алгоритмы являются обобщениями ранее рассматриваемых алгоритмов.

5. Предложены новые мягкие алгоритмы распределенного обнаружения в различных условиях функционирования системы. Выполнен сравнительный анализ характеристик эффективности синтезированных мягких алгоритмов распределенного обнаружения по сравнению с жесткими алгоритмами.

**Значимость научных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

*Теоретическая значимость* диссертационной работы заключается в том, что синтезированные алгоритмы совместной обработки информации в БСС и их статистический анализ, учитывающие характеристики эффективности функционирования ее элементов, позволят усовершенствовать методы статистической радиофизики применительно к задачам распределенного обнаружения в БСС. Полученные аналитическим путем в работе точные теоретические выражения для вероятностей ошибок всей системы позволяют точно найти и оценить эффективность обнаружения предложенными синтезированными алгоритмами.

*Практическая значимость* результатов диссертационной работы заключается в том, что на основе выполненных автором исследований открывается возможность обоснованного использования синтезированных алгоритмов при решении задачи обнаружения, которая является одной из основных задач в радиоразведке, охранных системах, при мониторинге.

Приведенные теоретические и численные исследования позволяют предварительно определить тип сенсоров и размер сети БСС при ее эксплуатации, и также выбрать алгоритм распределенного обнаружения в соответствии с требованиями к пропускной способности канала связи при заданной требуемой эффективности принятия решения системой.

Следует особо отметить то обстоятельство, что автору удалось без использования эвристических и неоправданно упрощающих предположений в результате корректного применения методов теории статистической радиотехники получить точные аналитические выражения для решающих статистик обнаружения в различных рассматриваемых в главах диссертации случаях.

Поставленные автором взаимосвязанные частные задачи диссертационного исследования решены, а приведенная в диссертации совокупность результатов обеспечивает достижение цели исследования и свидетельствует о вкладе автора в науку.

Диссертация Ле Ван Донг хорошо структурирована, написана четким, ясным языком, в тексте диссертации практически отсутствуют орфографические ошибки редакционного характера. Автор корректно ссылается на результаты исследований других авторов и приводит в диссертации результаты сравнения с ними.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации, позволяет судить о цели, задачах диссертационного исследования и результатах их решения. Приведенные в автореферате иллюстрации способствуют достоверному и критическому анализу результатов диссертации.

#### **Замечания и недостатки диссертации.**

1. При описании результатов статистического моделирования не указаны ключевые параметры статистической модели и не приведено подробное описание алгоритма моделирования. Так, в Главе 1 при описании результатов экспериментальных исследований не указано, каким образом выбиралось количество повторений и не вычислена оценка погрешности полученных экспериментальных результатов.

2. Не ясно, как следует использовать разработанные автором алгоритмы обнаружения в случае, если в БСС используются сенсоры различной природы.

3. В диссертации недостаточно полно представлены результаты исследования влияния характерной для практики априорной неопределенности относительно координат сенсоров на показатели эффективности обнаружения синтезированных алгоритмов. В частности,

не представлены результаты анализа статистических характеристик решающей статистики обнаружения в случае неизвестных координат цели. Автором отмечено, что оценка координат цели находится как положение глобального (абсолютного) максимума отношения правдоподобия; вместе с тем, не приведены результаты анализа статистических характеристик оценивания. Не обозначено, является ли решающая функция оценивания координат полимодальной; не оценена потенциальная точность определения координат.

Вместе с тем следует отметить, что такого рода исследования представляют собой самостоятельную сложную задачу, решение которой опирается на результаты автора, но в целом выходит за рамки диссертации.

4. Автором в работе представлены методики синтеза различных алгоритмов распределенного обнаружения, основанные на мягких схемах вынесения решений, в предложении, что в канале связи действует лишь гауссовская помеха. В тоже время во многих практических приложениях для используемых каналов связи характерно наличие замираний, которые оказывают существенное влияние на качество связи и описываются не гауссовскими моделями.

5. В Главе 4 при применении двухэтапного алгоритма обнаружения в локальных сенсорах получена решающая статистика и предложено решающее правило вынесения локальных решений. Однако не приведены статистические характеристики решающей статистики, что не позволяет в явном виде определить порог принятия решения о справедливой гипотезе.

Указанные замечания не снижают общей ценности и общего положительного впечатления от диссертационной работы, которая выполнена автором на достаточно высоком научном уровне.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.4 – Радиофизика (физико-математические науки), так как она посвящена разработке теоретических основ новых методов и коммуникационных систем, основанных на использовании излучения и приема волновых полей различной физической природы, разработке научных основ и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, исследованию влияния флуктуаций, шумов, случайных процессов и полей на функционирование БСС, созданию новых методик анализа и статистической обработки сигналов в условиях помех.

**Выводы.**

Диссертация Ле Ван Донг «Алгоритмы комплексирования информации в распределенных радиофизических системах» является законченной квалификационной работой, выполненной лично автором, имеет теоретическую и практическую значимость, а ее результаты обладают научной новизной.

Диссертация соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК при Министерстве науки и образования Российской Федерации, а ее автор, Ле Ван Донг, заслуживает присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук,  
начальник сектора  
акционерного общества «Концерн «Созвездие»

М.П. Сличенко

« 04 » 05 2022 г.

Акционерное общество «Концерн «Созвездие»,  
Адрес: 394018, г. Воронеж, ул. Плехановская, 14.  
Телефон: 8-920-412-05-50  
E-mail: m.p.slichenko@sozvezdie.su

Подпись официального оппонента доктора технических наук, начальника сектора акционерного общества «Концерн «Созвездие»  
Сличенко Михаила Павловича **ЗАВЕРЯЮ:**

Ученый секретарь  
акционерного общества «Концерн «Созвездие»



С.А. Ермаков

« 04 » 05 2022 г.