

**ОБНАРУЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ОТ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ АСТРОНОМИЧЕСКИМИ ТЕЛЕВИЗИОННЫМИ
СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНЫХ АДДИТИВНЫХ
И МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ**

¹Стрелков А.И., ²Стрелкова Т.А., ¹Лытюга А.П.

¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14

²Украинская инженерно-педагогическая академия
61003, Харьков, ул. Университетская, 16

E-mail: strelkova_t@ukr.net ; alex_lyt@ukr.net

The report is devoted to discussing of detection methods of low orbiting space objects (space debris) optical signals in ground-based astronomical television systems in day-time. The spatial structure of optical signals in the main plane with atmosphere turbulence influence is reviewed. Effectiveness of threshold detector is evaluated on day light conditions. Elaborated mathematical model of signals in astronomical television systems based on combined application of optical signals corpuscular and wave properties is proposed. Detection algorithms built with taking into consideration statistical characteristics of optical signals and influence of twilight and day-time interference situation for optical signals from cosmic objects in astronomical television systems are developed. It is shown that usage of proposed algorithms will allow increasing the astronomical television system's limit magnitude in day-time up to $6^m - 7^m$.

Введение. Возрастающая активность Человечества в космосе привела к образованию на околоземных орбитах большого количества так называемого "космического мусора", представляющего собой различные объекты искусственного происхождения и их фрагменты, которые были некогда запущены в космос, а к настоящему времени оказались пассивными и не несущими более никакой полезной нагрузки по использованию, либо разрушились по различным причинам. Эти космические объекты, общее количество которых исчисляется миллионами, обладающие размерами от десятков микрон до одного метра, движущиеся с орбитальными скоростями и остающиеся на орбите в течение многих лет, сформировали новую среду в околоземном пространстве выше стратосферы – пояс "космического мусора". На низких околоземных орбитах космический мусор сосредоточен в основном на интервале высот от 200 до 2000 км и в настоящее время представляет серьезную угрозу для космических полетов и долгосрочных орбитальных проектов.

Для осуществления прогноза и оценки степени опасности взаимного сближения низкоорбитальных космических аппаратов и элементов космического мусора необходимо проводить сеансы поиска и обнаружения неизвестных объектов. Возможности уменьшения неопределенностей в предсказании столкновительных событий связывают с расширением наблюдательных возможностей наземных астрономических телевизионных систем (АТС). Одним из возможных путей расширения возможностей АТС по наблюдению космических объектов является использование дневного времени суток для проведения сеансов наблюдения. Однако в дневных условиях эффективность применения АТС снижается из-за высокого уровня аддитивных и мультипликативных помех, приводящих к снижению обнаружительной способности систем. Проницающая способность существующих АТС в дневных условиях достигает $2^m - 3^m$ (звездных величин), что не достаточно для эффективного решения задач мониторинга околоземного космического пространства.

Доклад посвящен методам обнаружения оптических сигналов от низкоорбитальных космических объектов в астрономических телевизионных системах в дневное время.

Пространственная структура сигналов в плоскости регистрации. При регистрации оптических сигналов от низкоорбитальных космических объектов необходимо учитывать, что собственная скорость движения наблюдаемого объекта по орбите приводит к изменению пространственного распределения сигнальной составляющей в плоскости фотоприемника. Изображение низкоорбитальных космических объектов, полученное

в режиме компенсации суточного вращения Земли, имеет форму следа, сформированного за время экспозиции. Продольный размер следа зависит от высоты орбиты космического объекта (линейной скорости орбитального движения), взаимного расположения плоскости орбиты объекта и точки стояния системы, а также от зенитного угла, под которым наблюдается космический объект. Поперечный размер следа определяется значением параметра Фрида (радиуса корреляции атмосферных неоднородностей ρ_0). Пространственное распределение сигнальной составляющей в фокальной плоскости при регистрации сигнала от низкоорбитального космического объекта приведено на рис. 1.

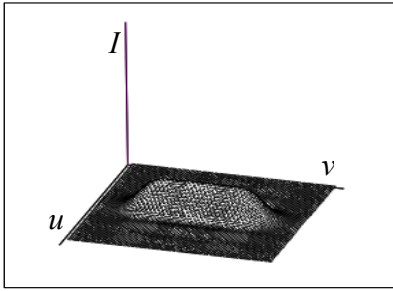


Рис. 1

Эффективность традиционных алгоритмов обнаружения сигналов в астрономических телевизионных системах в дневных условиях при наблюдении низкоорбитальных космических объектов. Изменение пространственной структуры сигнальной составляющей в плоскости фотоприемника, вызванное орбитальным движением наблюдаемого объекта и влиянием турбулентной атмосферы дневного времени, приводит к существенному снижению количества фотонов сигнальной составляющей, регистрируемых одним элементом матрицы фотоприемников за время накопления, и, тем самым, снижает обнаружительную способность астрономической телевизионной системы при регистрации оптических сигналов от низкоорбитальных космических объектов в сумеречных и дневных условиях [1].

В докладе приведены расчетные значения отношения сигнал/шум для режима обнаружения для различных значений параметра ρ_0 (состояния турбулентной атмосферы) и высоты орбиты наблюдаемого объекта и показано, что величина отношения сигнал/шум на выходе обнаружителя, реализующего метод энергетического обнаружения, основанный на пороговой обработке сигнала, сформированного одним элементом разрешения матрицы фотоприемника, для объектов блеском слабее 3^m , в дневной помеховой обстановке (совокупность аддитивных помех и мультипликативных искажений), не превышает значения $\varphi = 5$.

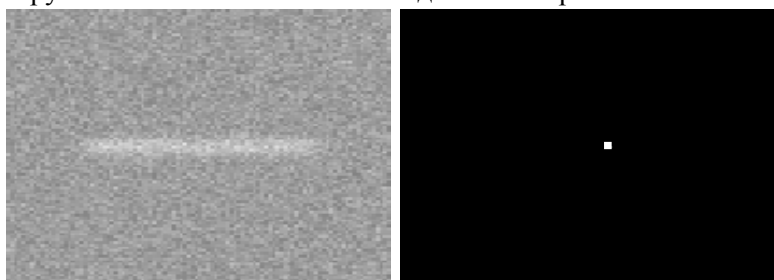
Математическая модель сигналов. Основой для разработки метода обнаружения послужила предложенная авторами математическая модель сигнала, основанная на совместном применении волновых и корпускулярных свойств оптического излучения, что позволило учесть взаимодействие светового излучения с веществом вдоль трассы распространения, с элементами оптико-механического тракта АТС, приемником излучения, а также описать статистические свойства оптических сигналов [2]. Волновые свойства света позволили описать распределение интенсивности оптического сигнала в фокальной плоскости АТС, как дифракционную картину Фраунгофера при дифракции плоской электромагнитной волны на входном отверстии, и использованы для описания среднего значения интенсивности оптического сигнала в каждой точке фокальной плоскости. Корпускулярные представления использованы для описания статистических свойств оптических сигналов в каждой точке плоскости регистрации.

Алгоритм обнаружения сигналов. В докладе приведен оптимальный алгоритм обнаружения сигналов в АТС в дневных условиях, основанный на отношении правдоподобия. С использованием пуассоновской статистики потока сигнальных и фоновых фотонов в плоскости регистрации получены аналитические выражения для достаточной статистики логарифма отношения правдоподобия; сформулировано правило выбора решения, основанное на критерии Неймана-Пирсона. Приведена структурная схема алгоритма обнаружения.

Оценка качества обнаружения. В докладе приведен результат оценки эффективности предложенного алгоритма. Получены аналитические выражения для среднего значения и дисперсии величины, принятой в качестве достаточной статистики логарифма отношения правдоподобия. Проведены расчеты значений величины отношения сиг-

нал/шум и условных вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги в зависимости от параметра ρ_0 , высоты орбиты и блеска наблюдаемого космического объекта. На основе результатов расчета величины отношения сигнал/шум и условных вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги сделан вывод о том, что предложенный алгоритм обнаружения дает возможность существенно улучшить качество обнаружения сигналов от космических объектов в АТС в дневных условиях по сравнению с пороговым алгоритмом обнаружения. Применение предложенного алгоритма позволит увеличить проникающую способность астрономических телевизионных систем в дневных условиях при наблюдении низкоорбитальных космических объектов в режиме обнаружения (при отсутствии априорной информации об объекте) до 6^m .

Работоспособность и реализуемость предложенного алгоритма проверены путем моделирования процесса обнаружения с использованием модельных и реальных телевизионных изображений космических объектов.[3] Исходное изображение и результат обнаружения приведены на рис. 2 а и 2 б соответственно.



а

Рис. 2

б

В докладе также обсуждаются рекомендации по построению астрономической телевизионной

системы обнаружения сигналов от космических объектов в сумеречное и дневное время.

Выводы. Проведенный анализ сигналов от низкоорбитальных космических объектов, дневных условий наблюдения и процессов формирования и регистрации сигналов в АТС показал, что существующие методы обнаружения сигналов, являющиеся квазиоптимальными при регистрации сигналов от космических объектов в ночных условиях, в дневных условиях не позволяют обнаруживать сигналы с достаточными характеристиками обнаружения. Причинами этого явления являются изменения пространственного распределения сигнальной составляющей в плоскости регистрации, обусловленные влиянием атмосферной турбулентности, и высокий уровень аддитивной помехи дневного времени.

Использование предложенных алгоритмов, разработанных на основе математической модели, совместно использующей волновые и корпускулярные представления о структуре оптического излучения, позволит повысить проникающую способность АТС в дневных условиях с $2^m - 3^m$, что обеспечивается традиционными пороговыми обнаружителями, до $6^m - 7^m$. Это позволит увеличить длительность суточного сеанса наблюдения космических объектов с десятков минут до длительности дневного времени, что необходимо для улучшения качества решения задач мониторинга космического пространства.

Литература

1. Лытюга А.П. Эффективность обнаружения сигналов от космических объектов в астрономических телевизионных системах в дневное время // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2007. – Вип. 3. – С. 42-46.

2. Стрелков А.И., Стрелкова Т.А. Лытюга А.П. Алгоритмы обнаружения сигналов в оптико-электронных системах контроля космического пространства // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Х.: ХНУРЕ, 2003. – Вып. 132. – С. 7-13.

3. Стрелков А.И., Лытюга А.П., Стрелкова Т.А. Имитационное моделирование обнаружения низкоорбитальных космических объектов в сумеречных и дневных условиях астрономическими телевизионными системами // Сьома Українська конференція з космічних досліджень, – Євпаторія, НЦУВКЗ, 2007. – С. 203.