

УДК 681.3.01:519.67

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫЕ ПОИСКОВО-ПРИЦЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАКЕТНО-АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ

А. Н. ЗУБКОВ, д-р техн. наук, А. А. ЩЕРБА, инж.
(Львовский ин-т Сухопутных войск Нац. ун-та «Львівська політехніка»)

Проанализированы принципы построения и варианты технической реализации многоспектральных поисково-прицельных систем с учетом пространственно-временной взаимоюстировки и взаимосинхронизации парциальных спектральных каналов.

Проаналізовано принципи побудови і варіанти технічної реалізації багатоспектральних пошуково-прицільних систем з урахуванням просторово-часового взаємюстирування та взаємосинхронізації парціальних спектральних каналів.

Principles of building and versions of technical implementation of the multispectral search-sight systems accounting for spatial-time mutual adjustment and mutual synchronization of partial spectral channels are analyzed.

Развитие новых радиоэлектронных и информационных технологий стимулирует поиск путей совершенствования приборов наблюдения наземных объектов как основного информационного звена систем инструментальной разведки Сухопутных войск. На перспективные приборы наблюдения, которые могут устанавливаться на ВГМ, ПТРК, артиллерийских системах, пунктах управления и разведки, а также использоваться автономно, возлагаются следующие основные задачи: поиск, обнаружение, распознавание, измерение координат и параметров движения наземных целей, прицеливание и наведение (самонаведение) на них вооружения [1, 2]. Эффективность систем наблюдения прежде всего определяется возможностью выполнения указанных выше задач в любой помехоцелевой обстановке, всепогодно и всесуточно с информативностью, достаточной для принятия достоверных статистических решений оператором либо автоматом. На практике нашли применение приборы наблюдения, использующие различные участки спектра электромагнитных волн — оптический, инфракрасный (ИК), радиодиапазоны. Однако приборы

наблюдения, работающие в пределах одного участка спектра электромагнитных волн, не обеспечивают решение всех совокупностей задач с требуемой эффективностью в изменяющихся условиях боевого применения. Так, оптический и ИК каналы наблюдения, обладающая высоким угловым разрешением, позволяют формировать изображения наблюдаемого объекта в «картинной» плоскости, которые хорошо согласуются с психофизиологическими особенностями оператора. Весомым преимуществом оптического канала является способность вести скрытное (без излучения) наблюдение. Вместе с этим оптическим (ИК) каналам свойствен ряд важных недостатков:

- зависимость характеристик от состояния приземного слоя атмосферы (гидрометеоры, пыль, дым, аэрозоли);
- малое мгновенное угловое поле зрения, что при априорной неопределенности пространственного положения цели существенно увеличивает время на ее поиск и обнаружение;
- резкое падение информативности с увеличением расстояния до цели из-за возрастания линейного элемента разрешения.

© А. Н. ЗУБКОВ, А. А. ЩЕРБА, 2009

В работе [3] показано, что скорость уменьшения количества информации в оптическом канале

$$\frac{dI_{\text{опт}}^*}{dD} = -\frac{2L_{\beta}L_{\varepsilon}}{y\text{tg}^2\Delta Q D^3},$$

в то время как для радиолокационного канала

$$\frac{dI_{\text{рл}}^*}{dD} = -\frac{2L_D}{\Delta D \ln^2 D},$$

где L_{β} , L_{ε} , L_D — линейные размеры цели соответственно по азимуту, углу места, дальности; ΔQ — угловая разрешающая способность; ΔD — разрешающая способность по дальности; $y \geq 1$ — коэффициент оптической прозрачности атмосферы, определяемый как отношение дальности оптической видимости при стандартных параметрах атмосферы D_0 к дальности при наличии помех (дождь, туман, снег, пыль, дым и пр.).

Радиодиапазон обеспечивает выполнение задач наблюдения круглосуточно и всепогодно, дает возможность получения информации о дальности до цели и ее доплеровских характеристиках. Однако достижение в радиодиапазоне угловых разрешающих способностей, сравнимых с оптическими (ИК) каналами, связано с использованием значительных апертур антенн, что диктует необходимость использования в приборах наблюдения тактического звена микроволнового диапазона, в частности миллиметрового [3].

В работах [4–7] показано, что комплексирование каналов наблюдения различных участков спектра электромагнитных волн в рамках общей информационно-измерительной системы является мощным инструментом повышения эффективности дистанционного мониторинга. При этом под комплексированием в общем случае понимается совокупность технических решений на аппаратном и программных уровнях, направленных на повышение эффективности прибора наблюдения за счет объединения эксплуатационных и информационных преимуществ парциальных спектральных каналов. В информационном аспекте объединение преимуществ парциальных спек-

тральных каналов при комплексировании может быть достигнуто на уровнях:

- пространственных выборок формируемых изображений наблюдаемых объектов и сцен (пиксельный уровень);
- информативных признаков наблюдаемых объектов и сцен;
- принимаемых поканально решений.

Пиксельный уровень позволяет эффективно комплексировать парциальные каналы со сравнимыми пространственными разрешающими способностями. Такими каналами могут быть смежные участки спектра электромагнитных волн, как, например, в координаторе ракеты комплекса «Стрела-10» [8]. Увеличение спектрального разнесения парциальных каналов на этом уровне затруднительно из-за практических ограничений, связанных с допустимыми физическими размерами и точностью изготовления антенных систем каналов радиодиапазона.

Комплексирование на уровне информативных признаков, полученных в единой системе координат (например, угломерные, дальностные, доплеровские, поляризационные «портреты»), также требует соизмеримости соответствующих разрешающих способностей парциальных спектральных каналов. Однако следует отметить, что на этом уровне существует возможность расширения размерности формируемых на выходе многоспектральной системы изображений объектов и сцен. Так, например, наличие высоких дальностного и доплеровского разрешений в активных каналах радиодиапазона позволяет дополнить оптические изображения в картинной плоскости, получаемые за счет высокого углового разрешения, дальностными и доплеровскими «портретами» [3].

Комплексирование на уровне принимаемых поканально решений является наиболее общим информационным подходом к повышению эффективности многоспектральных приборов наблюдения. При этом физические принципы построения парциальных спектральных каналов (активный, полуактивный, пассивный), а также степень приближения их структуры к оптимальной не имеют значения.

С точки зрения теории статистических решений в достаточно общей постановке проблема наблюдения не зависимо от участка спектра ЭМВ, занимаемого парциальным спектральным каналом, может быть декомпозирована на три задачи: обнаружение цели, измерение (оценка) координат цели, распознавание (многоальтернативное обнаружение) цели. Последовательно применив метод максимума правдоподобия [9], можно получить оптимальные алгоритмы решения указанных выше задач в многоспектральных системах, комплексиремых на уровне принятых канално-решений.

Обнаружение. Правила оптимального решения имеют вид

$$\sum_{k=1}^l h_k y_k \geq C, \quad (1)$$

где $y_k = (y_1, y_2, \dots, y_l)$ — l -мерный вектор частных решений; $y_k = 1$ — решение о наличии цели, принятое k -м каналом; $h_k = \ln \left(\frac{D_k}{F_k} \frac{1 - F_k}{1 - D_k} \right)$ — весовой коэффициент, который характеризует информационный вклад k -го парциального канала в обнаружении наблюдаемой цели; D_k, F_k — вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги в парциальном канале; C — пороговое значение, выбираемое исходя из допустимого уровня вероятности ложной тревоги F для многоспектральной системы в целом.

Оценка координат. Она может быть выполнена в виде зависимости

$$\hat{\alpha} = \sum_{k=1}^l G_k \alpha_k, \quad (2)$$

где α_k — оценка координаты цели (например, угловой) в парциальном канале; G_k — весовой коэффициент, физически интерпретируемый мерой относительной точности k -го парциального спектрального канала. Для нормальных распределений оценок α_k и внутриканальных шумов

$$G_k = \frac{1/\delta_{k\alpha}^2}{\sum_{k=1}^l 1/\delta_{k\alpha}^2},$$

где $\delta_{k\alpha}^2$ — дисперсия канальной оценки.

Анализ выражений (1), (2) показывает, что, на первый взгляд, введение дополнительных парциальных каналов эквивалентно увеличению объема статистической выборки при дискретном накоплении. И, действительно, при равноценности парциальных каналов по помехоустойчивости значительного повышения эффективности многоспектральной системы не происходит. Однако даже для двухспектральной системы при наличии помехи, поражающей один канал (например, гидрометеоры), но не действующей на другой канал, комплексирование оказывается существенно полезным. При этом пораженный канал отключается, поскольку при $D_k = F_k$ и $\delta_{k\alpha} \rightarrow \infty$ весовые коэффициенты $h_k = 0$, $G_k = 0$, и ведущая роль переходит к каналу, свободному от помех.

Распознавание. Задача многоспектрального обнаружения возникает в ситуациях, когда требуется принять решение не только о наличии объекта, но и о его классе. Важным с практической точки зрения является трехальтернативное обнаружение. В этом случае алгоритм оптимального объединения решений парциальных каналов принимает вид

$$\sum_{k=1}^l \sum_{r=1}^2 H_r^k \vartheta(Y - r_k) \geq C_{2j}, \quad (3)$$

где $Y = (y_1, y_2, \dots, y_l)$ — l -мерный вектор частных решений; $y_k = 0$ — цели нет; $y_k = 1$ — обнаруженный объект не относится к цели заданного класса (например, танк); $y_k = 2$ — обнаруженный объект является целью заданного класса; $H_r^{(k)}$ — коэффициент, определяющий относительный вес r -го решения в k -м парциальном канале; $r = 0, 1, 2$;

$$\vartheta(y_k - r) = \begin{cases} 1 & \text{при } y_k = r, \\ 0 & \text{при } y_k \neq r; \end{cases}$$

C_{2j} ($j = 0, 1$) — пороговое значение, выбираемое исходя из допустимых вероятностей лож-

ной тревоги и принятия обнаруженного объекта за истинную цель для многоспектральной системы в целом.

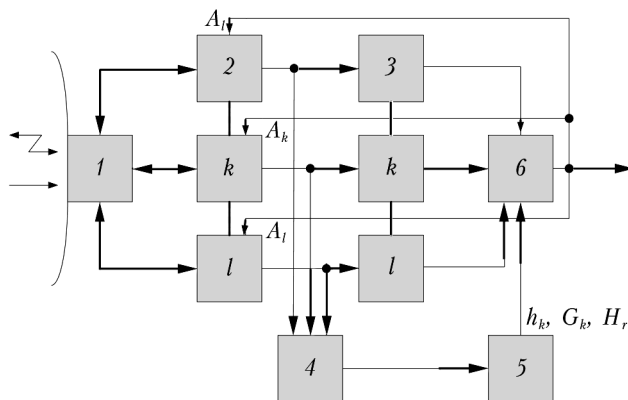
Алгоритмы (1)–(3) допускают простую физическую интерпретацию: чем выше статистическая надежность парциального спектрального канала, тем больший вес имеют его решения. Из указанного выше следует, что в общем случае эффективность многоспектральной системы наблюдения независимо от уровня комплексирования парциальных спектральных каналов повышается с увеличением их количества и максимального разнесения по частоте. Очевидно, что в изменяющейся помехоцелевой обстановке должна производиться оценка помеховой ситуации и осуществляться адаптивная перестройка весовых коэффициентов $h_k, G_k, H_r^{(k)}$.

Для обеспечения взаимосогласованной работы парциальных спектральных каналов в пространстве и времени в работах [1, 2, 4] разработана методология и приведены варианты конструктивного комплексирования (интеграции). Непосредственными физическими предпосылками для создания интегрированных многоспектральных поисково-прицельных систем являются:

- возможность объединения парциальных спектральных каналов в рамках единой пространственно-временной схемы диаграммообразования;
- инвариантность структуры аппаратно-программной части многоспектральной системы к физическому построению парциального канала после аналого-цифрового преобразования канальной информации;
- возможность использования для визуализации информации с выхода многоспектральной системы наблюдения единых индикаторов.

При этом в отличие от многоспектральных систем с различными апертурами парциальных каналов (например, [10]) может быть достигнут существенный выигрыш в массогабаритных и эксплуатационных характеристиках.

Структурная схема оптимальной интегрированной многоспектральной поисково-при-



Структурная схема оптимальной интегрированной многоспектральной поисково-прицельной системы: 1 – единый диаграммообразующий апертурный блок; 2 – приемопередающий (приемный) тракт парциального спектрального канала; 3 – блок выработки решений парциального спектрального канала; 4 – анализатор помеховой обстановки; 5 – блок вычисления канальных весовых коэффициентов h_k, G_k, H_r ; 6 – блок вычисления весовых сумм (1), (2), (4); $A_1 \dots A_l$ – сигналы управления адаптацией приемопередающих трактов парциальных спектральных каналов

цельной системы представлена на рисунке. Реализация оптимальной структуры интегрированного многоспектрального поисково-прицельного прибора исключает необходимость априорной информации о помехоцелевой обстановке как в случае оператора, так и в автоматизированной системе управления ракетно-артиллерийским вооружением.

Выводы

1. Многоуровневое комплексирование каналов наблюдения различных диапазонов электромагнитных волн существенно повышает информативность и помехоустойчивость поисково-прицельных систем, причем прирост эффективности является монотонной функцией количества парциальных спектральных каналов и максимального значения их частотного разнесения.
2. Оптимальная структура многоспектральной поисково-прицельной системы должна включать анализатор помеховой обстановки для адаптации весовых коэффициентов информационного вклада парциальных спектральных каналов.
3. Работа многоспектральной поисково-прицельной системы в реальном масштабе вре-

мени с учетом массогабаритных ограничений может быть обеспечена путем интеграции парциальных спектральных каналов в рамках единой пространственно-временной схемы диаграммообразования.

1. *Зубков А. Н.* Радиолокационные средства миллиметрового диапазона для повышения эффективности артиллерийских систем // Артиллерийское и стрелковое вооружение. — 2005. — № 4 (17). — С. 33–40.
2. *Иванов О., Изюмов Д.* Перспективная боевая система Сухопутных войск США // Зарубеж. воен. обозрение. — 2007. — № 3. — С. 31–39.
3. *Зубков А. Н.* Системы радиовидения миллиметрового диапазона. Сопоставление и интеграция с оптическими каналами, результаты эксперимента // Радиоэлектроника. — 2005. — № 10. — С. 3–10.
4. *Зубков А. Н., Иванов В. И., Казаков Б. М.* Интегрированный двухспектральный всепогодный и всеточный поисково-прицельный комплекс // Сб. тр. 4-й Междунар. конф. «Артиллерийские ствольные системы, боеприпасы, средства артиллерийской разведки и управления огнем». — Киев: НТЦ АСВ, 2000. — С. 200–203.
5. *Зубков А. Н., Прудюс И. Н.* Интегрированные многоспектральные системы геомониторинга. Концепция построения // Сб. науч. трудов 3-го Международ. радиэлектр. форума МРФ'2008. — Харьков: ХНУРЕ, 2008. — С. 283–286.
6. *Авласенок А. В., Алексеев Е. Г., Литвинов С. П., Савицкий Ф. Л.* Концептуальный облик информационной подсистемы самонаводящихся зенитных управляемых ракет перспективных ЗРК // Радиоэлектроника. — 2008. — № 5. — С. 49–54.
7. *Авласенок А. В., Алексеев Е. Г., Литвинов С. П., Савицкий Ф. Л.* Современные требования к многоспектральным автоматам сопровождения целей для систем высокоточного оружия и возможные пути их реализации // Там же. — 2008. — № 6. — С. 54–61.
8. *Зенитный ракетный комплекс ближнего действия «Стрела-10».* — М.: Воен. изд-во, 1990. — 201 с.
9. *Бакут П. А., Большаков И. А., Герасимов Б. М. и др.* Вопросы статистической теории радиолокации / Под ред. Г. П. Тартаковского. — М.: Сов. радио, 1963. — Т. 1; 1964. — Т. 2. — 400 с.
10. *Sensor-fuzed munition for artillery 155 mm gesellschaft fur intelligente Wirkssystem mbH. A subsidiary of Diehl and Rheinmetall Kupfest 4, 90478 Nurnberg, Germany.* — 2002. — 8 p.

УДК 621.384.326

МЕТОДИКА СОПОСТАВИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА НОЧНЫХ ПРИЦЕЛОВ ДЛЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

Н. В. СЕНАТОРОВ, канд. техн. наук (ЦКБ «Арсенал», г. Киев),
В. И. ГОРДИЕНКО, канд. техн. наук (НПК «Фотоприбор», г. Черкассы),
В. Н. СЕНАТОРОВ, канд. техн. наук (НИИСК, г. Киев)

Предложена методика сравнения ночных прицелов и показаны результаты ее практического применения.

Запропоновано методику порівняння нічних прицілів і показано результати її практичного застосування.

Methodology for comparing night sights is suggested, and results of its practical using are shown.

В современных условиях ведения боевых действий немалую роль и значение приобретают ночные операции, проводимые с использованием стрелкового оружия. Для этих целей разрабатываются соответствующие технические средства — ночные прицелы (НП). В

настоящее время их устанавливают не только на карабины, винтовки, пулеметы, но и на гранатометы [1, 2].

Все НП работают на принципе многократного усиления яркости изображения в области видимого и ближнего инфракрасного спектра

© Н. В. СЕНАТОРОВ, В. И. ГОРДИЕНКО, В. Н. СЕНАТОРОВ, 2009