

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЛС С ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КВАЗИНЕПРЕРЫВНОГО СИГНАЛА

к.т.н. А.А. Ковальчук, к.т.н. А.А. Сосунов, к.т.н. В.Ш. Хисматулин
(представил д.т.н., проф. А.В. Галенко)

Оценено влияние отношения сигнал/шум на количество каналов многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой, обеспечивающее достижение максимальной пропускной способности.

Введение. Многоканальные РЛС с фазированной антенной решеткой (МК РЛС с ФАР) широко используются в радиолокационных комплексах, благодаря ряду своих несомненных преимуществ, в том числе многоканальности за счет временного разделения каналов. В МК РЛС с ФАР при сопровождении определенного воздушного объекта (ВО) в последовательные моменты измерения его координат разделяются интервалами времени длительностью T .

В ряде работ [1, 2] управление длительностью T интервала времени между радиоконтактами используется для оптимизации пропускной способности МК РЛС с ФАР. В настоящее время в таких РЛС, как правило, используются системы раздельного автосопровождения [3]. При использовании квазинепрерывного излучения это системы автосопровождения по угловым координатам, дальности и радиальной скорости.

В этом случае возникает естественное стремление оценить, как каждая из вышеуказанных следящих систем автосопровождения влияет на пропускную способность МК РЛС с ФАР при различных отношениях сигнал/шум q . В рамках данной статьи ограничимся рассмотрением системы автосопровождения по радиальной скорости.

Цель статьи. Целью данной статьи является оценка влияния отношения сигнал/шум на количество каналов МК РЛС с ФАР, обеспечивающее достижение максимальной пропускной способности, на основе постановки задачи оптимизации, изложенной в [2].

Исходные данные и результаты использования базовой модели. Базовой моделью задачи оптимизации является двухфазная модель массового обслуживания, описанная в работах [2, 4], с использованием эквива-

лентных статистических характеристик частотного дискриминатора [5]. При использовании таких характеристик в работе [5] предложен показатель качества радиотехнической следящей системы – вероятность устойчивого сопровождения p_n . Этот показатель представляет собой вероятность нахождения ошибки к следующему радиоконтакту с целью в пределах апертуры эквивалентной характеристики дискриминатора.

Показатель p_n при отсутствии систематической ошибки является функцией длительности интервала времени T между радиоконтактами и отношения сигнал/шум q [2] и неявным образом входит в функционал пропускной способности (1).

Пропускная способность R (показатель качества) МК РЛС с ФАР представляет собой [2] некоторый функционал от параметров модели

$$R = F(L_{t_{цу}}, L_{t_{пз}}, L_{t_{ср}}, L_{t_{соп}}, T, T_1, q), \quad (1)$$

где $L_{t_{цу}}$ – распределение длительности интервалов времени $t_{цу}$ между целеуказаниями; $L_{t_{пз}}$ – распределение длительности интервалов времени $t_{пз}$ поиска и захвата воздушного объекта на сопровождение; $L_{t_{ср}}$ – распределение длительности интервалов времени $t_{ср}$ до срыва сопровождения; $L_{t_{соп}}$ – распределение длительности интервалов времени $t_{соп}$ сопровождения ВО; T – длительность интервала времени между радиоконтактами с ВО; T_1 – длительность интервала времени радиоконтакта с ВО.

В этой же работе проведен краткий анализ возможных путей решения задачи оптимизации и показано, что решение этой задачи в общем случае связано с большими трудностями. Поэтому, для того чтобы хотя бы в первом приближении судить о влиянии отношения сигнал/шум на оптимальное количество каналов МК РЛС с ФАР, рассмотрим упрощенную модель.

Для входного потока целеуказаний примем показательное распределение длительности интервалов времени $t_{цу}$ между целеуказаниями с постоянным средним значением $\bar{t}_{цу}$.

Для длительности интервалов времени $t_{пз}$ поиска и захвата ВО на сопровождение примем показательное распределение со средним значением $\bar{t}_{пз}$, независимым от количества свободных каналов второй фазы.

Для длительности интервалов времени $t_{ср}$ до срыва сопровождения ВО примем показательное распределение со средним значением $\bar{t}_{ср}$.

Кроме этого будем считать, что длительность интервалов времени $t_{\text{соп}}$ сопровождения ВО имеет показательное распределение со средним значением $\bar{t}_{\text{соп}}$.

В этом случае двухфазная модель МК РЛС с ФАР является марковской, что существенно облегчает решение. Для решения задачи поиска оптимального количества каналов МК РЛС с ФАР, обеспечивающего максимальную пропускную способность, будем варьировать количество каналов k от единицы до некоторого максимального значения N , выбираемого из условия, что максимум пропускной способности заведомо расположен внутри отрезка $[1, N]$. При этом количество каналов k зависит от длительности интервала времени T следующим образом:

$$k = k_0 \frac{T}{T_0},$$

где k_0 – количество каналов при длительности интервала времени между радиоконтактами T_0 .

Для вероятности устойчивого сопровождения p_n воспользуемся результатами работы [5], в которой приведены зависимости $p_n(T)$ от длительности интервала времени T между радиоконтактами для нескольких отношений сигнал/шум q , полученные при использовании эквивалентных статистических характеристик частотного дискриминатора на основе методики, изложенной в работе [2]. При этом исходная ширина апертуры статической характеристики частотного дискриминатора составила 500 Гц.

Определим состояние S_{ij} [4], где i – количество ВО на этапе поиска и захвата (на первой фазе обслуживания), j – количество ВО на этапе сопровождения (на второй фазе обслуживания). Соответствующие интенсивности входного потока целей, обслуживания на первой фазе, обслуживания на второй фазе и срыва сопровождения обозначим как λ , μ_1 , μ_2 , μ_0 . Тогда граф переходов для двухфазной марковской модели МК РЛС с ФАР с k каналами будет иметь вид, представленный на рис. 1.

По указанному графу переходов выписывается система дифференциальных уравнений для вероятностей состояний, с помощью которой легко получить систему алгебраических уравнений для финальных вероятностей состояний. Показатель качества R выражается через финальные вероятности P_{ij} состояний следующим образом:

$$R = \frac{\mu_2}{\lambda} \left(\sum_{j=1}^{k-1} j(P_{0j} + P_{1j}) + kP_{0k} \right) = \frac{\bar{t}_{\text{цп}}}{\bar{t}_{\text{соп}}} \left(\sum_{j=1}^{k-1} j(P_{0j} + P_{1j}) + kP_{0k} \right).$$

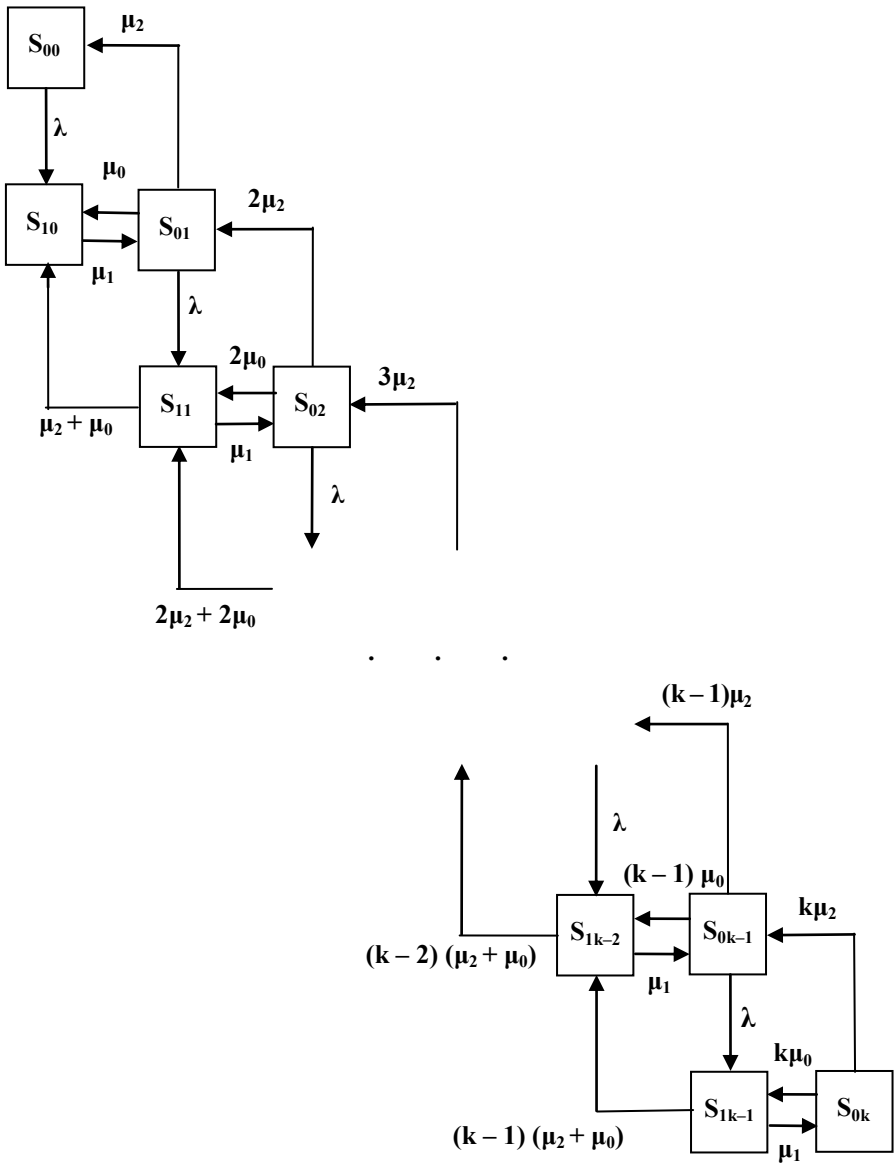


Рис. 1. Граф переходов двухфазной марковской модели для k каналов

Для получения численных оценок примем следующие исходные данные:
 $\bar{t}_{\text{цз}} = 20 \text{ с}$, $\bar{t}_{\text{пз}} = 10 \text{ с}$, $\bar{t}_{\text{соп}} = 40 \text{ с}$, $\bar{t}_{\text{ср}} = 0,017 \text{ к} \frac{1}{1 - p_{\text{н}}(0,017\text{к})}$ для отношений
 сигнал/шум $q = 2, 3, 5, 10$.

Результаты расчетов приведены на рис. 2.

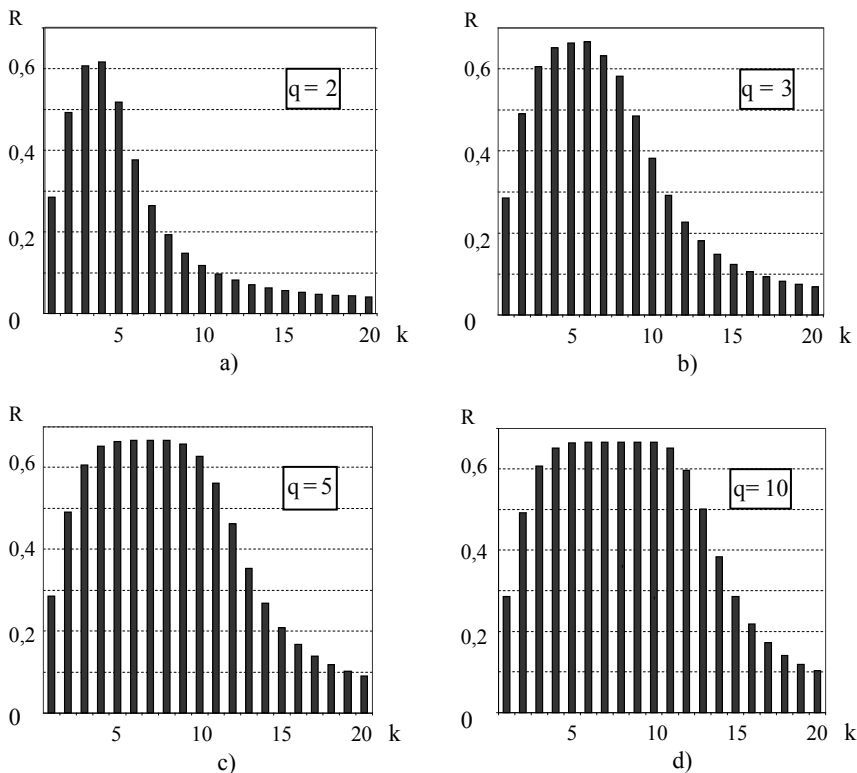


Рис. 2. Зависимость пропускной способности МК РЛС с ФАР от количества каналов k при различных отношениях сигнал/шум q

Анализ полученных для типовых условий результатов позволяет сделать следующие выводы.

Выводы. Оптимальное количество каналов сопровождения по радиальной скорости МК РЛС с ФАР чувствительно к отношению сигнал/шум. Следует отметить, что с ростом отношения сигнал/шум экстремум “размывается”. Однако с точки зрения экономии других видов ресурса целесообразно принимать наименьшее число каналов, отвечающих экстремуму. В этом случае оптимальное количество каналов

МК РЛС с ФАР зависит от отношения q порогово, практически не меняясь при $q \geq 3$ (для указанных выше условий).

Окончательный вывод о том, какая из следящих систем МК РЛС с ФАР является критичной при определении оптимального количества каналов, можно будет сделать только на основе сопоставления аналогичных результатов для систем автосопровождения по угловым координатам и дальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Самойленко В.И., Шишов Ю.А. Управление фазированными антенными решетками.* – М.: Радио и связь, 1983. – 240 с.
2. *Ковальчук А.А., Парфенов Ю.Э., Сосунов А.А., Хисматулин В.Ш. Постановка задачи оптимизации пропускной способности многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой путем управления длительностью интервала времени между радиоконтактами // Системы обработки информации.* – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 6. – С. 47 – 56.
3. *Максимов М.В., Меркулов В.И. Радиоэлектронные следящие системы.* – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
4. *Кулинич И.А., Парфенов Ю.Э., Сосунов А.А. Модель для обоснования требований к показателю качества радиотехнической следящей системы // Системы обработки информации.* – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 5. – С. 145 – 150.
5. *Хисматулин В.Ш., Сачук И.И., Ковальчук А.А. Оценка вероятности надежного сопровождения аэродинамических целей многоканальной радиолокационной станцией // Сборник научных трудов. Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". Авиационно-космическая техника и технология.* – Х.: НАУ «ХАИ». – 2001. – Вып. 22. – С. 259 – 262.

Поступила 20.02.2004

КОВАЛЬЧУК Андрей Алексеевич, канд. техн. наук, преподаватель кафедры Харьковского военного университета. В 1997 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – радиотехнические следящие системы.

СОСУНОВ Александр Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры Харьковского военного университета. В 1988 году окончил Московский физико-технический институт. Область научных интересов – радиотехнические следящие системы, автоматизация научных исследований.

ХИСМАТУЛИН Владимир Шайдуллович, канд. техн. наук, профессор кафедры Харьковского военного университета. В 1969 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – радиотехнические следящие системы.