

С. В. Козлов, Ву Тхань Ха

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Белоруссия)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ПРИЕМНЫХ КАНАЛОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ СО СКАНИРУЮЩЕЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ

Аннотация. Показано сохранение работоспособности радиолокационного измерителя угловых координат со сканирующей многоканальной антенной системой при выходе из строя части приемных каналов. Определены требования к ошибкам калибровки приемных каналов по амплитуде и фазе при заданных максимальных ошибках оценивания угловых координат.

Ключевые слова: деградация приемных каналов, радиолокационный измеритель, угловые координаты, многоканальная антенная система, функция отношения правдоподобия.

S. V. Kozlov, Vu Thanh Ha

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
(Minsk, Belarus)

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF RECEIVING CHANNELS DEGRADATION ON THE EFFICIENCY OF A RADAR DETECTOR-METER OF ANGULAR COORDINATES WITH A SCANNING MULTI-CHANNEL ANTENNA SYSTEM

Abstract. It is shown that the radar angular coordinate meter with a scanning multi-channel antenna system remains operational when a part of the receiving channels fails. The requirements for errors in calibration of receiving channels in amplitude and phase at the specified maximum errors in the estimation of angular coordinates are determined.

Keywords: receiver degradation, radar meter, angular coordinates, multi-channel antenna system, likelihood ratio function.

В ряде работ были предложены одно- и двухэтапные квазиоптимальные алгоритмы обработки сигналов в радиолокационных измерителях угловых координат со сканирующей многоканальной антенной системой. Алгоритмы основаны на операциях пространственной компенсации помех в каждом периоде повторения, оценивании доплеровского сдвига частоты мешающих отражений, их когерентной компенсации, обеления результатов обработки во временной области, оценивании средней мощности и коэффициента междупериодной корреляции отраженного сигнала с последующим построением и максимизацией логарифма функции отношения правдоподобия (ФОР). При синтезе алгоритмов обработки диаграммы направленности (ДН) приемных каналов полагались известными, а комплексные коэффициенты усиления приемных трактов – идентичными. На практике ни первое, ни второе условие в полном объеме не выполняются: форма ДН антенн приемных каналов известна лишь приближенно, а приемные каналы подвержены деградации – выходу из строя отдельных приемных каналов или изменению модуля или фазы коэффициента передачи в сравнении с модельным значением. Для практического применения разработанных алгоритмов требуется оценка влияния деградации приемных каналов на точность определения угловых координат цели и определение требований к точности калибровки приемных каналов. Исследование указанных вопросов и составляло цель настоящей работы.

Для проведения исследований использовалась имитационная математическая модель многоканальной приемной системы при непосредственном воспроизведении алгоритмов оценивания угловых координат цели в условиях деградации приемных каналов. Рассматривался измеритель угловой координаты в составе обзорной импульсной РЛС с механическим вращением антенной системы. Моделируемая антенная система включала основную приемопередающую антенну прямоугольной формы размерами $15 \times 2,5$ длин волн и

четыре компенсационные антенны размерами $1 \times 2,5$ длин волн, попарно пристыкованных справа и слева к основной апертуре. Амплитудное распределение поля на апертурах принималось равномерным, число импульсов в пачке около 100. Во всех случаях на РЛС по главному и боковым лепесткам ДН основного канала воздействовали внешние источники помех при отношении помеха/шум 30...40 дБ.

Рассматривались два варианта деградации: предельный случай выхода из строя отельных приемных трактов, когда их коэффициенты усиления по мощности изменялись на 10...20 дБ; наличие ошибок нормированных коэффициентов усиления приемных каналов по амплитуде в виде центрированной нормально распределенной случайной величины со среднеквадратическим отклонением до 0,3 и нормально распределенных фазовых ошибок со среднеквадратическим значением до 30° .

Для первого случая установлено, что при выходе из строя от одного до трех компенсационных каналов при достаточном отношении сигнал/шум максимум ФОР формируется в пра-вильном направлении, то есть алгоритм сохраняет свою работоспособность даже при выходе из строя трех компенсационных каналов из четырех. При этом величина максимума ФОР снижается на 40, 65 и 80% при выходе из строя одного, двух и трех приемных каналов соответственно.

Установлена причина сохранения работоспособности алгоритма при столь существенной деградации приемных каналов. Показано, что при компенсации внешней помехи в условиях расхождения модельных и фактических значений параметров приемных каналов, но сохранении близкого к заданному коэффициента усиления хотя бы одного из них, в процессе отклонения нормали к антенной системе от направления на помеху реализуемая адаптированная ДН будет приближаться к модельной адаптированной ДН. Так как модельные значения ДН далее используются в алгоритме максимального правдоподобия при оценивании угловых координат, то на части интервала наблюдения отсчеты адаптированной и нормированной принимаемой реализации будут резко отличаться от ожидаемого сигнала, суммироваться с близким к нулю весом, и, следовательно, практически не будут участвовать в формировании значения ФОР. В то же время для отсчетов, когда модельная и реализуемая ДН близки, слагаемые ФОР будут суммироваться с ненулевым весом. Это приводит к наблюдаемому уменьшению максимумов ФОР, но сохранению работоспособности алгоритма оценивания угловых координат. Степень снижения максимума ФОР будет зависеть от разности угловых положений полезного сигнала и помехи и степени деградации приемных каналов. Для оценки влияния деградации приемных каналов на результаты обработки предложено использовать зависимость коэффициента различия формы реальной и модельной адаптированной ДН от углового положения антенной системы.

Для случая малых ошибок калибровки комплексных коэффициентов усиления приемных каналов для наиболее сложной ситуации наличия трех источников внешних помех установлено, что при средней квадратической ошибке приемных каналов по амплитуде в 30% от номинального значения и средней квадратической ошибке по фазе 30° дисперсия ошибки оценивания угловых координат цели увеличивается не более чем в 3 раза в сравнении со случаем идентичных приемных трактов. Ошибки измерения не превышают 10% от ширины главного лепестка ДН основного канала.

Таким образом, в измерителе угловых координат со сканирующей многоканальной антенной системой за счет использования алгоритма максимального правдоподобия происходит частичное устранение влияния деградации характеристик приемных каналов. Влияние имеющих место на практике ошибок калибровки на результат измерения угловых координат окажется относительно небольшим.

Работа выполнена в рамках плана научных исследований Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.