

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ МАКВИЛ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НА ИСТОЧНИК СИГНАЛОВ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

П.Ю. Тваровский, магистрант МТУСИ, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8А, padlich97@yandex.ru

УДК 654.16

Аннотация. Проведен анализ результатов моделирования алгоритмов определения направления на источник (*DOA*) сигналов, проведенный в ПО *MathLab*.

Ключевые слова: *DOA*; алгоритм; *MUSIC*; МАКВИЛ; антенна; оценка; *ESPRIT*; направление на источник; *MathLab*.

ESTIMATION OF PARAMETERS OF ANTENNA SYSTEM OF THE MCWILL TECHNOLOGY INFLUENCING THE EFFICIENCY OF WORK OF THE ALGORITHM DETERMINING THE DIRECTION ON THE SOURCE OF SIGNALS USING MATHEMATICAL MODELING

Pavel Tvarovsky, master's student MTUCI, 111024, Moscow, ul. Aviamotornaya, 8A

Annotation. The analysis of simulation results of algorithms for determining the direction to the source (*DOA*) of signals, conducted in the *SOFTWARE MathLab*.

Keywords: *DOA*; algorithm; *MUSIC*; *McWILL*; antenna; estimation; *ESPRIT*; the direction to the source, *MathLab*.

Одной из отличительных особенностей технологии МАКВИЛ является использование интеллектуальной антенной системы, представляющей собой сочетание фазированной антенной решетки и быстрого алгоритма обработки сигнала.

С одной стороны, применение такого сочетания позволяет добиться увеличения, по сравнению с традиционной антенной системой, зоны обслуживания БС. С другой стороны, применение интеллектуальных антенн обеспечивает значительное подавление помех: для случая пространственного формирования луча. БС может не только сформировать луч в направлении абонента, но и создать нулевое значение в направлении помехи с тем, чтобы получить максимальное отношение сигнал/помеха и сигнал/шум.

Таким образом, адаптивная система управления лучами диаграмм направленности интеллектуальной антенной системы отслеживает движение абонентов и наиболее эффективно осуществляет пространственную селекцию каналов, подавляя помехи. Кроме того, 8-лучевая антенная система базовой станции МАКВИЛ предлагает заметно большие возможности пространственной селекции, по сравнению с традиционно используемой в других сотовых сетях однолучевых антенн.

В настоящее время наиболее эффективным и быстродействующим алгоритмом определения направления на источник сигнала является *MUSIC*. Для оценки параметров антенной системы и других параметров, влияющих на эффективность работы алгоритма, были разработаны математические модели в *MATLAB*.

Первая модель показывает, как два сигнала распознаются алгоритмом *MUSIC*. Существует два независимых сигнала узкополосной связи, угол падения 20° и 60° соответственно, эти два сигнала не коррелированы, шум является идеальным гауссовским белым шумом, SNR составляет 20 дБ, расстояние между элементами составляет половину длины волны входного сигнала, массив номер элемента – 8, количество выборок – 200.

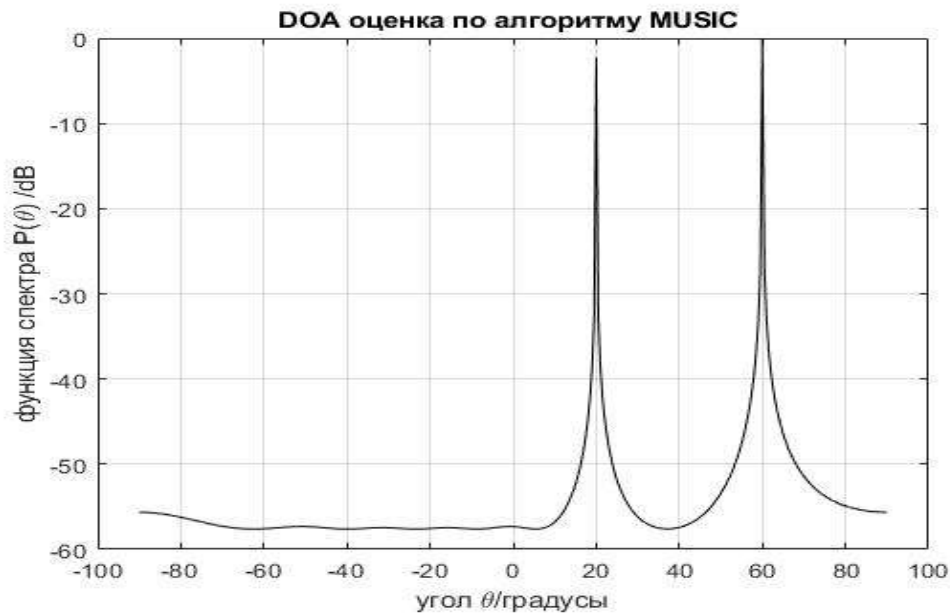


Рисунок 1

Как видно из рис. 1, для гипотетической ситуации с двумя независимыми сигналами, используя *MUSIC*, можно построить алгоритм пикового спектра иголки. Он может хорошо оценить количество и направление сигнала, который можно использовать для эффективной оценки независимого источника сигнала *DOA*. Алгоритм *MUSIC* с высоким разрешением может измерять точность, высокую чувствительность и иметь потенциальную возможность работы с сигналами с несколькими разрешениями. Алгоритм *MUSIC* с лучшей производительностью и высокой эффективностью может обеспечить высокую разрешающую способность и асимптотически объективную оценку *DOA*, что имеет большое значение для практического применения.

Вторая модель показывает, что существуют два независимых сигнала узкой полосы, угол падения составляет 20° и 60° соответственно, эти два сигнала не коррелированы, шум является идеальным гауссовским белым шумом, *SNR* составляет 20 дБ, расстояние между элементами составляет половину длины волны входного сигнала, номер элемента массива – 8, 50 и 100, количество выборок – 200.

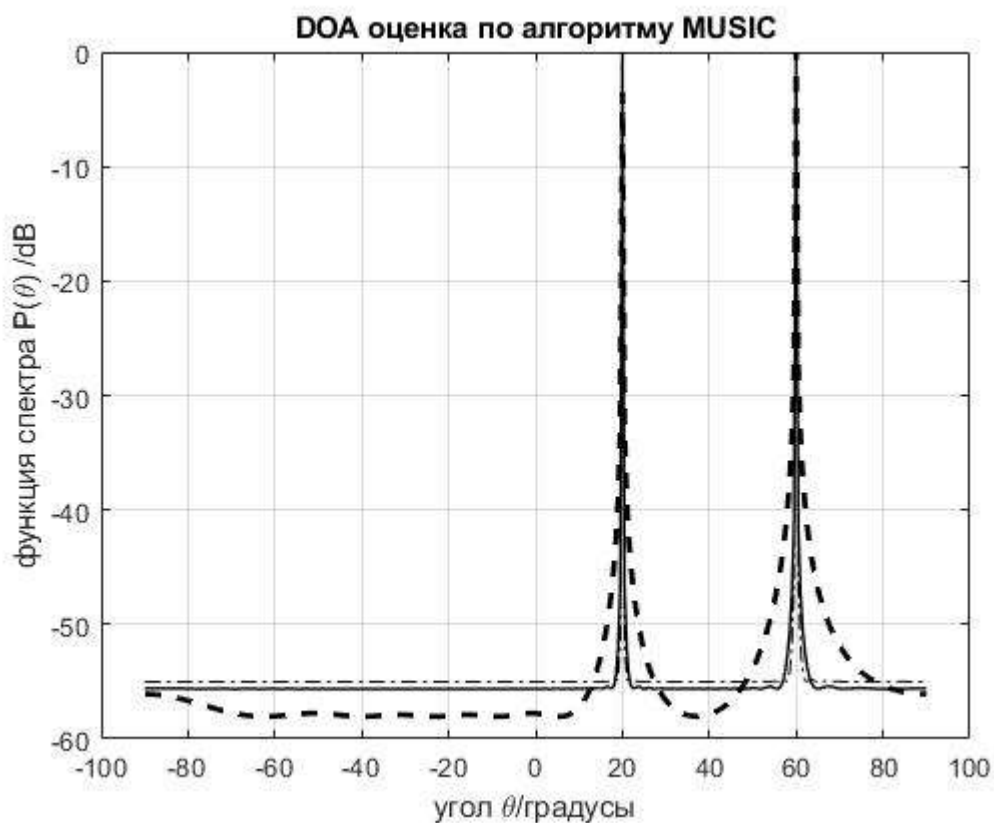


Рисунок 2

Как видно из рис. 2, пунктирная линия показывает количество антенн – 8, сплошная линия показывает количество антенн – 50, а штрихпунктирной линией показано количество антенн – 100. При использовании других условий, оставаясь неизменным и с увеличением числа антенн, ширина луча становится узкой, направленность массива становится хорошей; то есть способность различать пространственные сигналы усиливается. Следовательно, чтобы получить более точные оценки *DOA*, он может увеличить количество антенн, но чем больше число антенн, тем больше данных нуждается в обработке; и чем больше количество вычислений, тем ниже скорость. Из приведенного выше рисунка можно сделать вывод что, когда количество антенн составляет 50 и 100, ширина их луча очень схожа. Поэтому на практике количество антенн может быть выбрано в соответствии с конкретными условиями. Путем минимизации потерь ресурсов и ускорения скорости работы эффективность работы может улучшиться.

Третья модель показывает, что есть два независимых сигнала узкополосных сигналов, угол падения 20° и 60° соответственно, эти два сигнала не коррелированы, шум является идеальным гауссовским белым шумом, SNR – 20 дБ, число элементов массива – 8, число моментальных выборок – 200, расстояние между антеннами – $\lambda/6$, $\lambda/2$, λ .

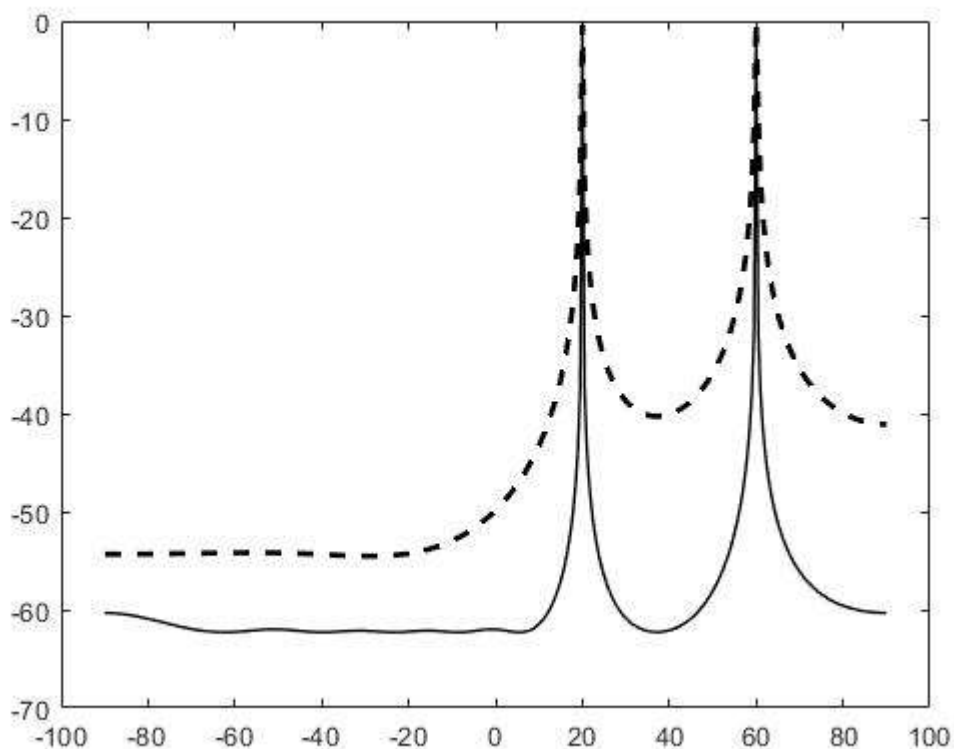


Рисунок 3

Как видно из рис. 3, пунктирная линия показывает, что расстояние между элементами массива составляет $\lambda/6$, сплошная линия показывает, что расстояние между элементами массива составляет $\lambda/2$, а штрихпунктирная линия показывает расстояние между элементами массива – λ . Если остальные условия остаются неизменными, когда расстояние между элементами массива не превышает половины длины волны, с увеличением расстояния между элементами массива ширина луча спектра оценки *DOA* становится узкой, направление элементов массива становится хорошим; то есть разрешение алгоритма *MUSIC* улучшается с увеличением расстояния между элементами массива, но, когда расстояние между элементами массива больше половины длины волны, оценочный спектр, за исключением направления источника сигнала, показывает ложные пики, поэтому он потерял точность оценки. Следовательно, в практических приложениях больше внимания следует уделять расстоянию между элементами массива; расстояние между элементами может быть увеличено, но не должно превышать половину длины волны, что является очень важным моментом.

Четвертая модель показывает, как два сигнала распознаются алгоритмом *MUSIC*. Существует два независимых сигнала узкополосной связи, угол падения 20° и 60° соответственно, эти два сигнала не коррелированы, шум является идеальным гауссовским белым шумом, *SNR* составляет 20 дБ, расстояние между элементами составляет половину длины волны входного сигнала, массив номер элемента – 8, количество выборок – 5, 50 и 200.

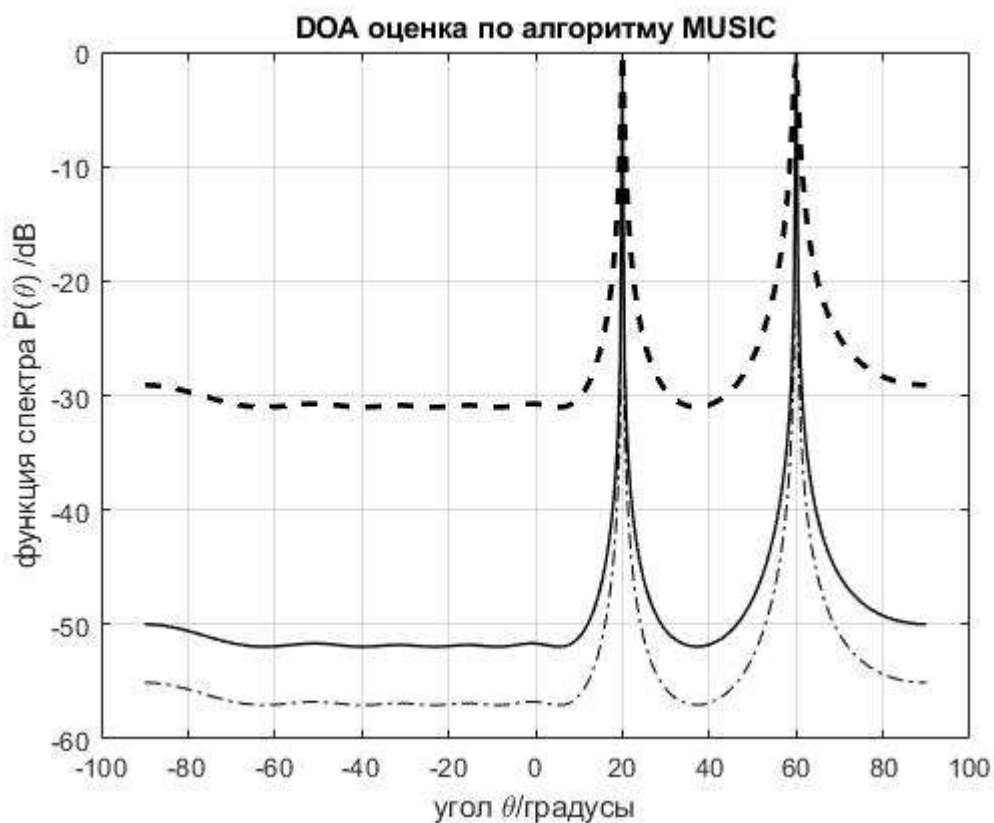


Рисунок 4

Как видно из рис. 4, пунктирная линия показывает количество выборок – 5, сплошная линия показывает количество выборок – 50, а штрихпунктирная линия показывает количество выборок 200. Если остальные условия остаются неизменными и с увеличением числа снимков ширина луча спектра оценки *DOA* становится узкой, направление элемента массива становится хорошим и точность алгоритма *MUSIC* также увеличивается. Следовательно, количество выборок можно расширить, чтобы повысить точность оценки *DOA*, но чем больше выборок, тем больше данных необходимо обработать. Чем больше количество расчетов алгоритма *MUSIC*, тем ниже скорость. Поэтому в практическом применении необходимо выбирать разумное количество выборок, которое обеспечивает точность оценки *DOA* и минимизирует количество вычислений.

Пятое моделирование показывает, как два сигнала распознаются алгоритмом *MUSIC*. Существует два независимых сигнала узкой полосы, угол падения 20° и 60° соответственно, эти два сигнала не коррелированы, шум является идеальным гауссовским белым шумом, расстояние между элементами составляет половину длины волны входного сигнала, число элементов массива равно 8, количество выборок – 200, *SNR* –20 дБ, 0 дБ и 20 дБ.

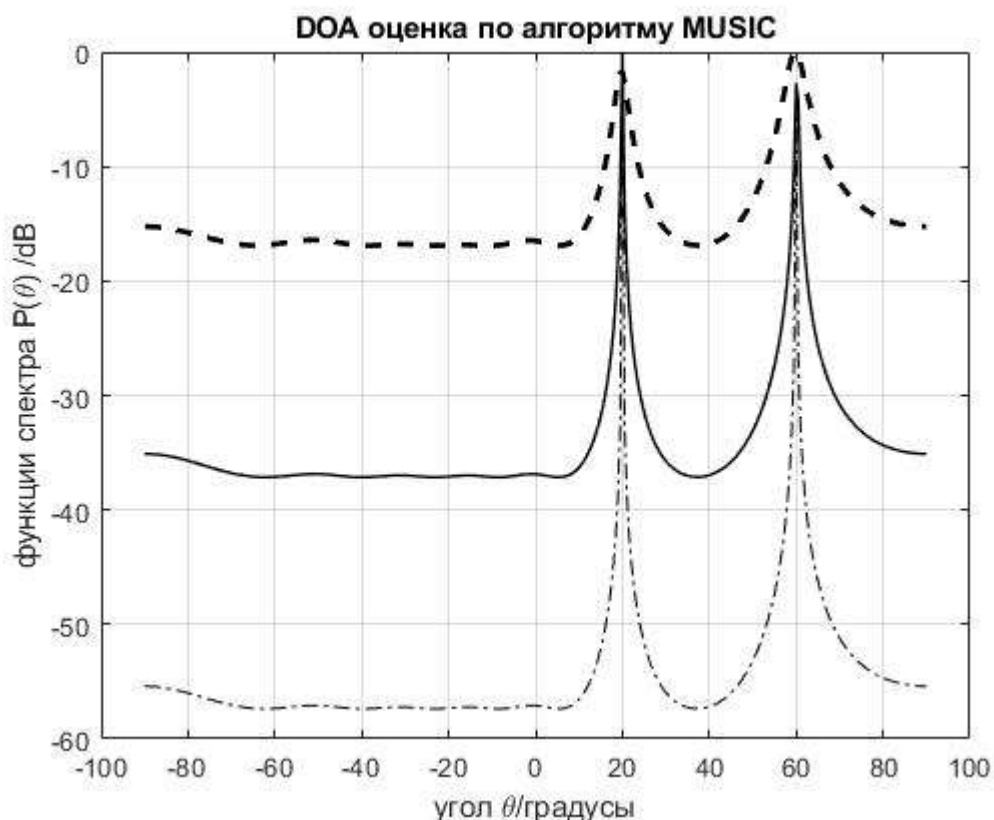


Рисунок 5

Как видно из рис. 5, пунктирная линия показывает, что SNR составляет -20 дБ, сплошная линия показывает, что SNR составляет 0 дБ, а штрихпунктирная линия показывает, что SNR составляет 20 дБ. При остающихся неизменными остальными условиями с увеличением числа SNR ширина луча спектра оценки DOA становится узкой, направление сигнала становится яснее, а точность алгоритма $MUSIC$ также увеличивается. Значение SNR может напрямую влиять на производительность алгоритма оценки DOA с высоким разрешением. При низком SNR производительность алгоритма $MUSIC$ резко снижается, поэтому повышение эффективности оценки при низком SNR является основной темой исследования для оценки DOA с высоким разрешением.

Шестая модель показывает, как два сигнала распознаются алгоритмом $MUSIC$. Есть два независимых сигнала узкополосных сигналов, эти два сигнала не коррелированы, шум – идеальный гауссовский белый шум, SNR – 20 дБ, интервал между элементами составляет половину длины волны входного сигнала, номер элемента массива – 8, количество выборок – 200, а угол падения составляет 25° и 30° и 60° соответственно.

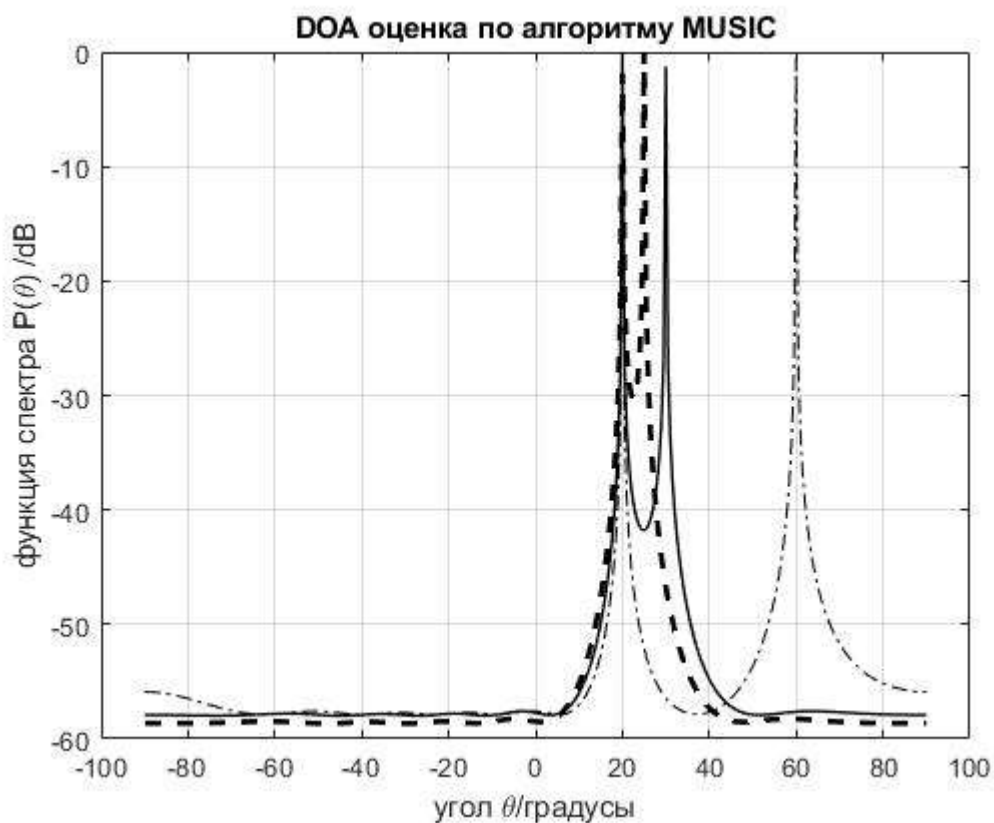


Рисунок 6

Как видно из рис. 6, пунктирная линия показывает, что угол падения составляет 5° , сплошная линия показывает угол падения 10° , а штрихпунктирная линия показывает угол падения 20° . При остальных условиях, оставшихся неизменными и с увеличением разности углов падения, ширина луча спектра оценки *DOA* становится узкой, направление сигнала становится ясным и также увеличивается разрешение алгоритма *MUSIC*. Когда пространство углов сигнальной волны очень мало, алгоритм не может оценить количество источников сигнала.

Седьмая и восьмая модели показывают, как два сигнала распознаются алгоритмом *MUSIC* и улучшены алгоритм *MUSIC*. Когда сигналы когерентны, пусть угол падения составляет 20° и 60° соответственно, эти два сигнала не коррелированы, шум является идеальным гауссовским белым шумом, *SNR* составляет 20 дБ, расстояние между элементами составляет половину длины волны входного сигнала, элемент массива число равно 8, а число выборок – 200.

На рис. 7 показан результат моделирования алгоритма *MUSIC*. На рис. 8 показан результат моделирования улучшенного алгоритма *MUSIC*.

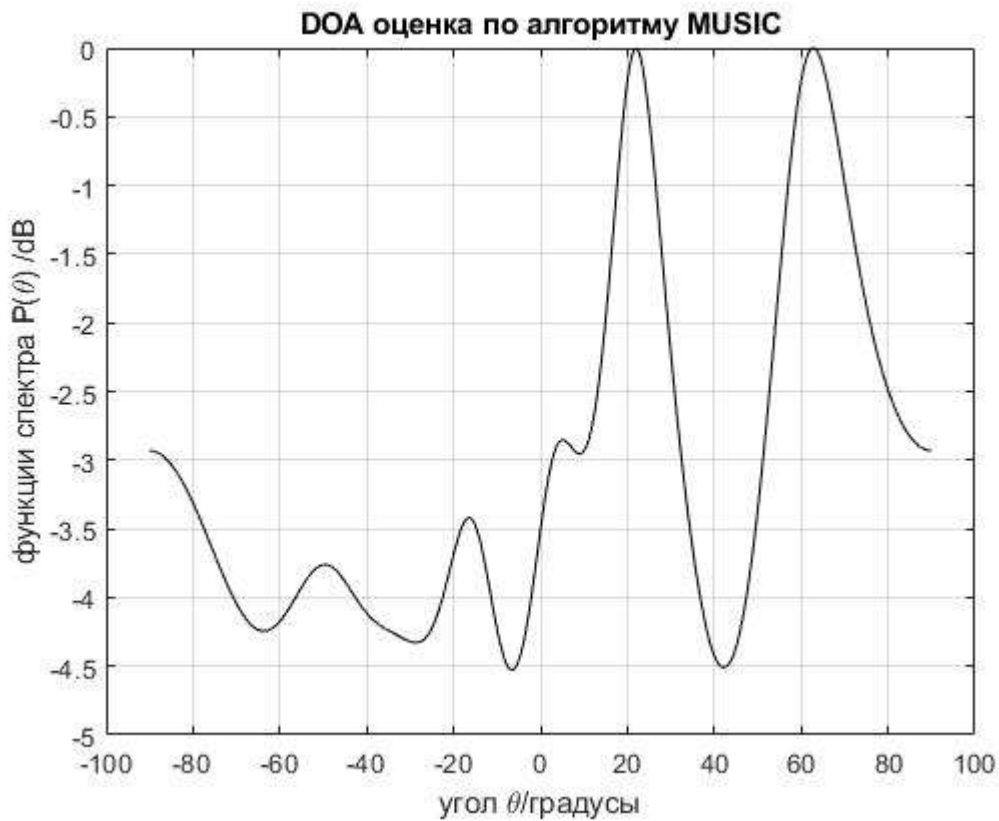


Рисунок 7

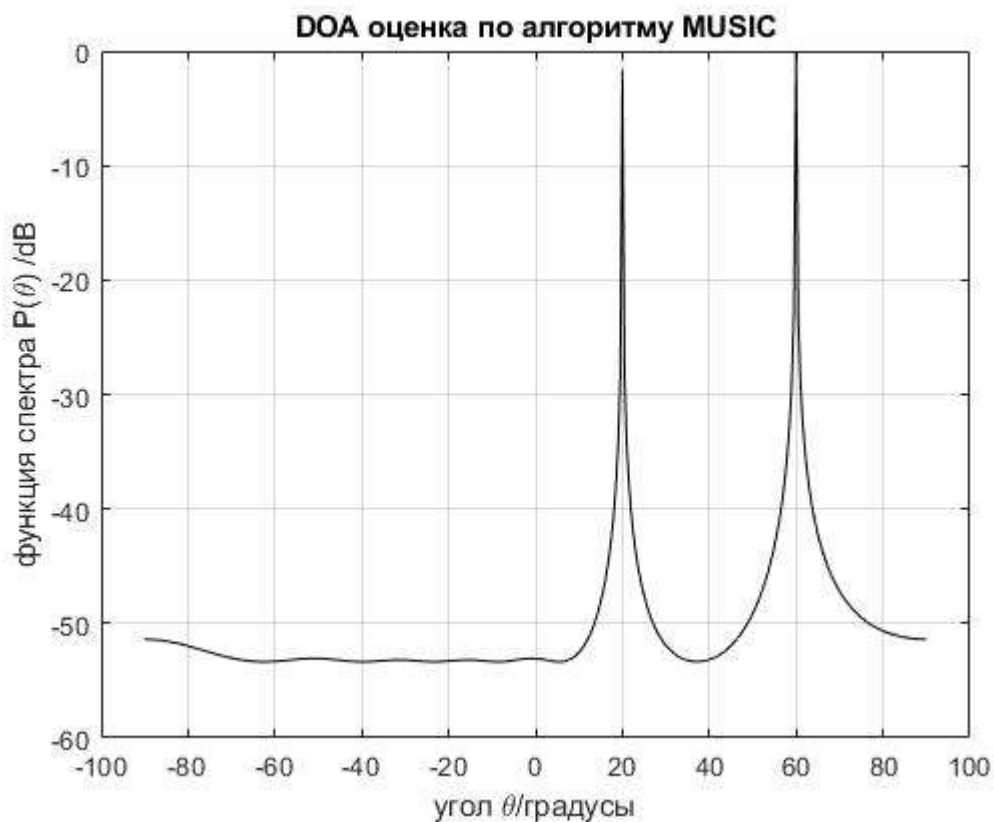


Рисунок 8

Как видно из рис. 7 и рис. 8, для когерентных сигналов классический алгоритм *MUSIC* потерял эффективность, а улучшенный алгоритм *MUSIC* может быть применен для устранения функции корреляции сигнала, которая может различать когерентные сигналы и оценивать угол

прихода точнее. Под правильной моделью, используя алгоритм *MUSIC* для оценки *DOA*, можно получить любое высокое разрешение. Но алгоритм *MUSIC* фокусируется только на некоррелированных сигналах; когда источником сигнала является сигнал корреляции, производительность оценки алгоритма *MUSIC* ухудшается или полностью прекращается. В свою очередь, улучшенный алгоритм *MUSIC* может сделать оценку *DOA* более полной и оказывать заметное влияние на практическое использование.

Проведенный анализ результатов моделирования показал, что чем больше количество антенн, тем больше количество выборок; чем больше различие между углами падения, тем выше разрешение алгоритма. Когда расстояние между антеннами меньше половины длины волны, тогда пространственный спектр формирует ложные пики в направлении, не совпадающим с направлениями источника сигнала. При малом *SNR* и небольшой разности угла падения эффективность алгоритма будет снижаться. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования, базового и улучшенного алгоритмов *MUSIC*.

Литература

1. Лохвицкий М.С., Сорокин А.С., Шорин О.А. Мобильная связь: стандарты, структуры, алгоритмы, планирование. – М.: Горячая линия-Телеком, 2018. – 264 с.
2. Шорин О.А., Косинов М.И. и др. Рынок корпоративных пользователей и технология широкополосного мобильного доступа МАКВИЛ // Электросвязь, 2017. – № 1.
3. Аверьянов Р.С., Бокк Г.О., Шорин А.О. Оптимизация размера кольцевой антенны и правила формирования территориальных кластеров для сотовой сети МАКВИЛ // Электросвязь, – № 1.
5. Islam, M.R., and Adam, I.A.H., Performance Study of Direction of Arrival (DOA) Estimation Algorithms for Linear Array Antenna. - International Conference on Signal Processing Systems, 15-17 May 2009. – pp. 268-271.
6. Kim M., Ichige K., and Arai H., Implementation of FPGA based Fast DOA Estimator using Unitary MUSIC Algorithm. – Vehicular Technology Con.vol.1, Oct. 6-9, 2003. – pp. 213-217.
7. Lavate, T.B., V.K. Kokate and A.M. Sapkal, 2010. Performance analysis of MUSIC and ESPRIT doa estimation algorithms for adaptive array smart antenna in mobile communication. Proceedings of the 2nd International Conference on Computer and Network Technology, Apr. 23-25, IEEE Xplore Press, Bangkok, – pp. 308-311.