

Наша история голографического радара

Впервые на мысль о том, что может возникнуть необходимость в георадарах дистанционного зондирования, удаленных от поверхности исследуемого объекта, меня навела шведская разведка. С двумя ее сотрудниками я оказался за одним столом во время обеденного перерыва Шестой Международной конференции по георадарам в Японии. Они подарили мне свои карточки, где сведения о роде их занятий сообщались напрямую, а так же сказали, что пытаются понять перспективы использования георадаров для поиска мин. Я вспомнил шутку нашей сотрудницы о том, что один георадар может найти только одну мину, и сообщил об этом своим новым знакомым. Они весело смеялись, а потом подтвердили, что и сами склоняются к такому мнению.

Вторым толчком послужил рассказ Валерия Гайданского о поездке делегации отделения ЭПОС ИЗМИРАН в Англию, где ему понравились работы по дистанционному распознаванию образов с помощью радиоволн на кафедре радиофизики университета:

- Система из девяти приемных рупоров. Говорят, что используют принципы голографии.

Чтобы понять, как можно сконструировать «Георадар на расстоянии», рассматривал самые разные способы сканирования пространственным радиолучем, и, в конце концов, пришел к выводу, что следует использовать достаточно большую решетку независимых антенн, записывать сигналы, а, потом, на компьютере, «сканировать» пространство с помощью математики. Так у нас появилась новая тема голографического георадара.

Директор отделения ЭПОС Александр Евгеньевич Резников одобрил голографический радар, нашел деньги и даже исполнителей:

- Передо мной программа конференции по радиолокации. Из программы видно, что основные ее участники работают в НИИ Приборостроения, туда и будем звонить.

Договорились, что приедем к ним на Кутузовский проспект и побеседуем.

В вестибюле института нас встречала скульптура В.С. Гризодубовой, она когда-то была замом директора по летной подготовке.

За столом комнаты переговоров сидела группа людей во главе с Л.М. Якубеном.

Когда я изложил суть проблемы, за столом возникло некоторое замешательство, все стали переглядываться друг с другом.

Тогда это я отметил, но не обратил особого внимания, и только много позже узнал, что именно здесь работал Л.Д. Бахрах по созданию радиоголографического радара в 70 годах, а некоторые из присутствующих были членами его команды! Тесен мир! Это именно они закрыли тему радиоголографии и были уверены, что у нас ничего не получится!

Потом слово взял Л.М. Якубень, и, подбирая слова, объяснил, что у них есть информация о подобных проектах в прошлом, и, хотя конкретные результаты они не знают, однако слышали, что были какие-то проблемы. Еще он сказал, что, тем не менее, участвовать в проекте они согласны. Как я сейчас понимаю, им в то время деньги, выделенные А. Е. Резниковым, были очень нужны!

За конструирование голографического радара взялся В.В. Ринкус. Дело это не быстрое, поэтому я попросил у них на фирме передатчик и приемник трехсантиметрового диапазона, чтобы начать эксперименты по радиоголографии, перемещая приемник в пространстве вручную.

Для этой цели очень хорошо подошел кульман, производственной необходимости в котором уже не было, и Володя Гарбацевич отдал его без сожаления. Прикрепил к рейшине приемник, на ватмане нарисовал квадраты, вывел кнопку записи сигнала и приступил к съемке радиоголограмм.

Фиксация первой голограммы заняла 40 минут. Я потом улучшал этот результат, но из 27 минут выйти не удавалось.

Значимым было событие, когда Алексей Попов в качестве мишени принес надломленную арматуру в виде буквы «Г». По восстановленной голограмме мы ее отчетливо видели!

Этот эксперимент нас убедил, что «радиовидение» возможно! Такая убежденность укрепилось еще более, когда в качестве мишени стали использовать бутылку коньяка «Плиска», уполовиненную во время какого-то застолья. Мы различали не только форму бутылки, но и уровень коньяка в ней! Этак, работая на ряде частот, можно даже будет дистанционно определять крепость напитка по разности фаз сигналов разных частот, поскольку диэлектрическая проницаемость воды и спирта, а значит и их смеси, будет различной!

Я всячески уберегал бутылку от посягательств, объясняя, что это реквизит, но через некоторое время ее на месте не оказалось.

Убежденность, что радиоволны 3 см диапазона могут довольно точно передавать форму и свойства предметов, и мы это видели, не позволила бросить тему, хотя причин к тому имелись много.

Радар Ринкуса не работал. Антенны Вивальди, коммутируемые диодами, настолько сильно влияли одна на другую, что определить положение пробного источника по сигналам удавалось не всегда. Алексей Попов даже предложил решать системы уравнений, чтобы «развязать» сигналы с антенн.

Вскоре разработчик Ринкус умер, и Л.М. Якубень сообщил, что бумаг он не оставил, и продолжить дело некому. Во время беседы со мной и Резниковым сказал, что эту тему он закрывает.

По поведению было видно, что такой ход событий его очень устраивает. Наверное, его убеждение, что радиоголография невозможна, еще более укрепились. Тем более, что деньги у А.Е. Резникова уже закончились.

Далее следовал большой перерыв, когда А.В. Попов пытался продолжить работы в Питере, передав туда все, что осталось от Ринкуса, и даже нашел грантовские деньги на продолжение, но результатов не было и работающий голографический радар не появился.

Мне удалось заинтересовать голографическим радаром директора нашей георадарной фирмы ООО «Компания ВНИИСМИ» Андрея Ильича Беркута, и он вложил в проект свои личные деньги. Исполнителей я уже знал: это сотрудники «Элерона», которые сконструировали нам георадар Лоза

для производства в Мытищах. Осталось хорошее впечатление.

Теперь я очень опасался перекрестных связей в антенной решетке. Чтобы их исключить, даже придумал схему радара-наоборот, когда приемник один, а передатчиков много, целая антенная решетка. Идея была в том, что передатчики коммутировать проще, это не слабые сигналы приемников.

Такой первый макет из шестнадцати передатчиков и одного приемника был сделан и испытан, потом меня начали терзать сомнения, а правильно ли я поступаю? После долгих размышлений, взвешивая все «за» и «против», вернулся к классической схеме.

Элероновцы решили проблему перекрестных наводок в решетке приемных антенн! По крайней мере, наши алгоритмы обработки их не фиксируют! Вот как они это сделали.

На рис. 1 показана одна из 4 секций приемной решетки, на которой расположены 64 антенны. Конструктивно они служат резонаторами входных цепей приемника и связаны с 64 входными усилителями на частоте волны. Здесь, в отличие от схемы Ринкуса, происходит не только коммутация, но и резонансное усиление сигнала. Центральная частота приемников 10 ГГц, но возможна перестройка в полосе 1.5% относительно нее.

Расстояние между центрами антенн по вертикали 22.5 мм, по горизонтали 24.5 мм. Эти расстояния выбирались из условий минимизации влияния элементов и отсутствия ре-

зонансов решетки, а поскольку антенны анизотропны по своей физической природе, эти расстояния различны.

Но для голографического радара этих мер недостаточно, общее влияние решетки на отдельный элемент оказывается слишком большим. Просачивание паразитных сигналов происходит во многих узлах прибора, в том числе и через ключевые элементы, коммутирующие антенны при опросе.

В радаре использована дополнительная алгоритмическая обработка, которая происходит в процессе измерений в самом приборе. Измерение квадратурных компонент с каждой антенны идет последовательно, каждое в два такта.

На первом такте измеряются значения компонент при закрытых входах всех антенн, кроме одной, опрашиваемой.

На втором такте закрываются все входы всех антенн и измеряется значение общего паразитного сигнала, проникающего в приемный тракт.

Из первого сигнала вычитается второй, результат является измеренным значением напряженности поля.

Из рис. 1 видно, что фидеры выполнены по древовидной схеме, и фазовый путь для каждого сигнала одинаков.

Внешний вид прибора приведен на рис. 2.

Для компенсации технологических отклонений по фазе и коэффициенту усиления каналов предусмотрена калибровка. Она производится по излучению передатчика, направленного на решетку из фиксированной точки. Для этой точки рассчитывается теоретическая амплитудно-фазовая функция в плоскости голограммы, на которую поэлементно делится зафиксированная при калибровке двумерная экспериментальная

функция. Формируется калибровочная таблица, на которую будут умножаться все измеряемые сигналы.

Калибровка очень ответственная операция, и все ее не-точности будут далее воспроизводиться в каждом измерении. Ее следует проводить на открытом пространстве. Любой паразитный сигнал, попавший на решетку в процессе калибровки, будет присутствовать уже во всех дальнейших измерениях, искажая их.