

Изучение возможности применения технологии nanoLOC

Технология nanoLOC позволяет одновременно с передачей данных определять расстояние между передающими узлами. Принцип расчета дистанции основан на измерении времени задержки распространения радиосигнала от одного модуля к другому и обратно. Данная технология позволяет измерять расстояния, в том числе и в закрытых помещениях, где сигналы от спутников систем GPS и ГЛОНАСС недоступны.

Сергей Дмитриев
Константин Екимов
Сергей Кипрушкин
Алексей Мощевикин
alexmou@lab127.ru

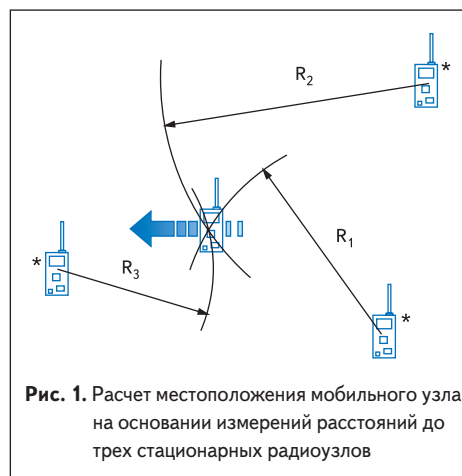
Введение

Зная расстояния между мобильным узлом и стационарными реперами с известным местоположением (они обозначены «*» на рис. 1), можно с некоторой точностью¹ определить местоположение объекта.

Несмотря на ряд выявленных недостатков технологии nanoLOC, проведенные и описанные далее эксперименты позволяют прогнозировать

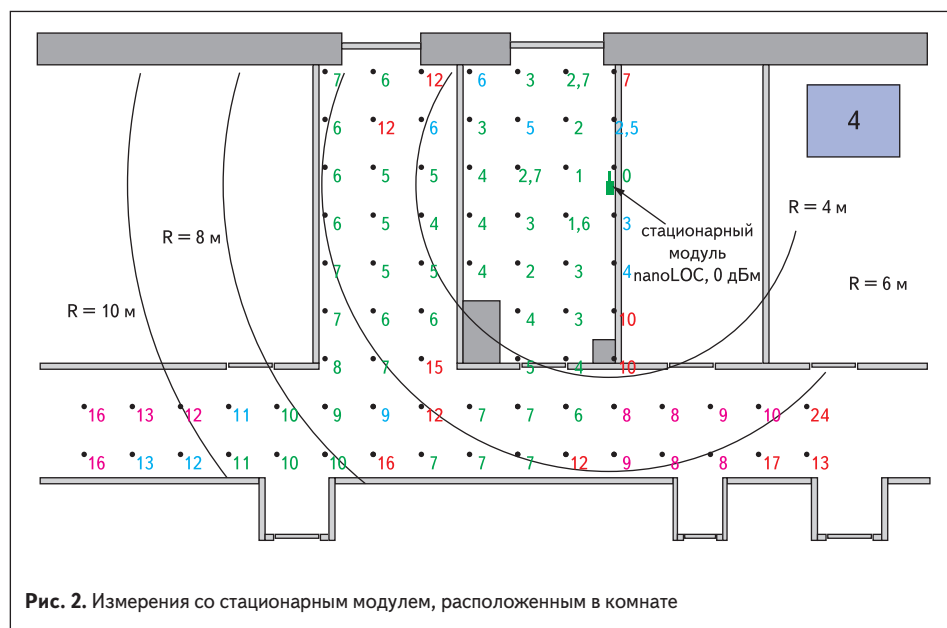
рост количества разработок на ее основе во многих отраслях промышленности и областях жизнедеятельности человека. Среди них можно выделить следующие проекты:

- Комплексные системы быстрого развертывания (контроль состояния мостов, высотных зданий и пр., например, на основе анализа вибраций).
- Онлайн-системы сбора информации с городского пассажирского транспорта (например, маршрутных такси).
- Комплексы мониторинга состояния механизмов и узлов крупных агрегатов с возможностью крепления датчиков на их движущихся частях.
- Мобильные сети контроля и диагностики (больницы, гостиницы, выставки, экскурсии).
- Автоматизация крупных крытых терминалов в портах и на железнодорожных станциях для онлайн-контроля и оптимизации грузопотока и др.



Общие условия проведения экспериментов

С целью определения различных эффектов при измерении расстояний по технологии nanoLOC в закрытых помещениях был произведен ряд



¹ Заявленная разработчиками радиотехнологии nanoLOC (компания Nanotron Technologies GmbH, Германия) точность измерений — 1 метр.

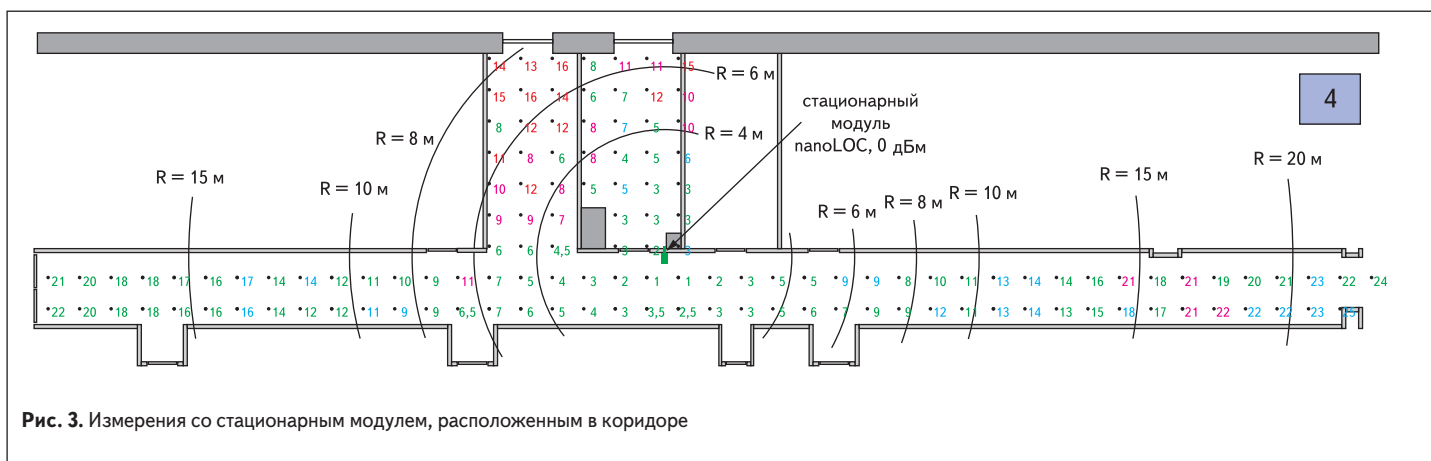


Рис. 3. Измерения со стационарным модулем, расположенным в коридоре

экспериментов. Исследовалось влияние различных пространственных помех (стен, столбов, мебели, оборудования, людей) и поведения системы при размещении приборов на теле человека. Большинство экспериментов было нацелено на поиск качественных эффектов, поэтому измерения статистически не обрабатывались. Усреднение по нескольким отсчетам проводилось «на глазок», обязательно контролировалась только достаточная стабильность показаний на интервале измерения.

Во всех проведенных экспериментах использовались разработанные в Lab127 модули nanoLOC, управляемые с помощью микроконтроллера ATmega644. Модули были оснащены четвертьволновыми антеннами с коэффициентом усиления 2 дБи. Мощность выходного сигнала составляла 1 мВт (0 дБм).

Один из модулей подключали к компьютеру по интерфейсу RS-232 через преобразователь уровней. В ходе экспериментов результаты измерения расстояния с помощью технологии nanoLOC контролировались визуально в терминальной программе и сохранялись в файл. Карты местности строились с помощью лазерного дальномера.

Все измерения проводились в комплексе зданий физико-технического факультета Петрозаводского государственного университета. Материал внешних стен здания — кирпич, внутренних стен — гипсокартон, закрепленный на металлических направляющих. Период постройки зданий, где проходили измерения, — 2000–2005 годы.

Измерения внутри зданий

Эксперимент 1

В экспериментах 1 и 2 один из модулей был подключен к компьютеру с программой для автоматизированного протоколирования результатов измерений, которые поступали раз в секунду. Модуль перемещался по помещениям и удерживался на высоте 1,8 м человеком. Второй модуль был закреплен на деревянном шесте на высоте 1,8 м и размещался стационарно в одном месте, в комнате или коридоре. В каждой экспериментальной точке значение фиксировалось после достижения стабильного уровня показаний. На рис. 2 и 3 представлены результаты измерений.

Расстояние между точками на рисунках — 1 м. Все измеренные значения завышены, как

минимум, примерно на метр (особенность, выявленная в экспериментах по оценке точности измерения расстояний с помощью радиотехнологии nanoLOC), поэтому следует делать дополнительную поправку.

Обозначения на этих рисунках и далее по тексту: зеленый цвет соответствует хорошим (точным) измерениям, синий — терпимым, малиновый — завышенным вследствие отражений или иных эффектов (потенциально по этим показаниям можно восстановить истинное расстояние), красный — ложным (трудно восстанавливаемые данные). Как правило, значения, выделенные красным, варьировались с большей дисперсией, иногда связь даже полностью отсутствовала, и функция измерения расстояний возвращала значение -1 . Прочерк на рисунке означает полное отсутствие сигнала.

Анализируя представленные схемы, можно отметить, что за массивным препятствием сигнал либо отсутствует, либо принимается за счет отражения. Наиболее сильно сигнал искажается при

прохождении вдоль проводящей поверхности. В пределах прямой видимости измерения были правильными на расстоянии до 25 м. Но при наличии даже не преград, а близко расположенных выступов, происходит искажение показаний (например, область, отмеченная малиновым цветом справа на рис. 3).

Эксперимент 2

Для изучения условий применения технологии nanoLOC в помещениях, имеющих много металлических объектов (склады, супермаркеты, ангары), был проведен дополнительный эксперимент, но уже в экранированной комнате (физической лаборатории). Стены в ней покрыты листовым металлом. В помещении есть столбы, много мебели и оборудования (металлические стеллажи, насосы и т. п.).

На рис. 4 представлены результаты измерений. Очевидно, что экранирование стен весьма эффективно препятствует точному измерению расстояний. Сигнал в большинстве экранирован-

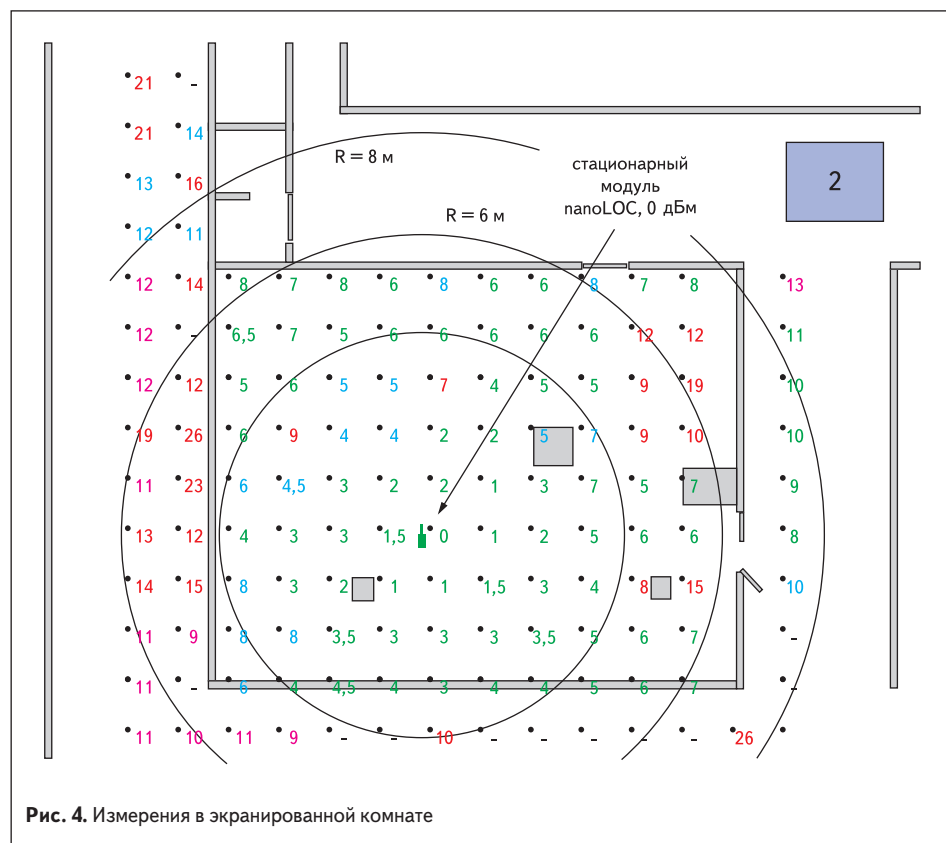
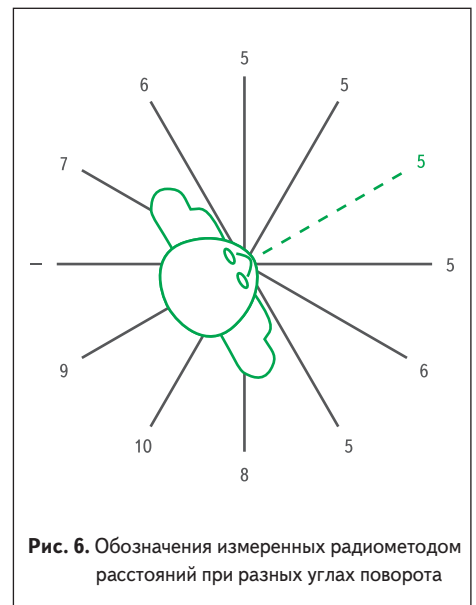
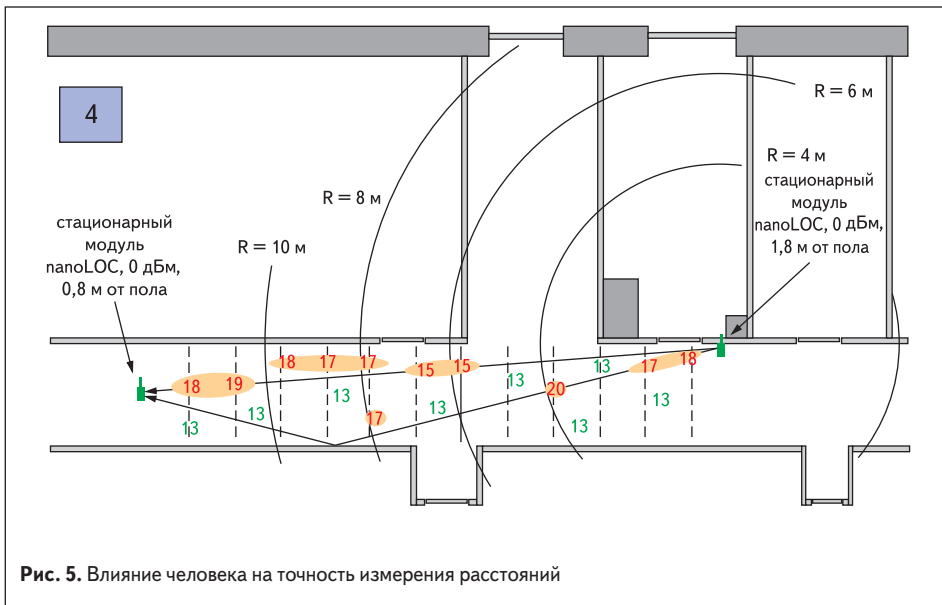


Рис. 4. Измерения в экранированной комнате



ных точек присутствует благодаря отражению; особенно хорошо этот эффект проявляется вблизи углов комнаты. В нижний (на рисунке) коридор сигнал вообще не проходит, а в левом есть области с плохо объяснимым геометрическими соображениями «набегом расстояний». Также хорошо видна область теней, формируемых левым столбом внутри комнаты (левый нижний угол) и квадратной металлической стойкой ближе к центру рисунка: сигнал до точек в тени доходит исключительно за счет отражений.

Эксперимент 3

В эксперименте 3 исследовалось влияние нахождения человека между двумя стационарно расположенными модулями. Один модуль был закреплен на деревянном шесте длиной 1,8 м, прислоненном к стене. Второй модуль был смонтирован на дере-

вянной подставке высотой 0,8 м в коридоре. Человек пересекал площадь между двумя модулями (штриховые линии на рис. 5).

В ходе проведения замеров были найдены зоны неправильного измерения расстояний. Числа, отмеченные зеленым и красным цветом, соответствуют средним значениям измеренных радиометодом расстояний. Эксперимент показал, что зон с завышением расстояний (они подсвечены красным) не очень много. Интересно, что между красными островками есть участки корректного измерения расстояний, то есть зоны с завышением расстояний очень локальны.

Однозначно можно утверждать, что наличие человека на прямом луче между модулями искажает показания. Замечено, что в некоторых точках при полном перекрытии луча измерения все же правильные, а при скольже-

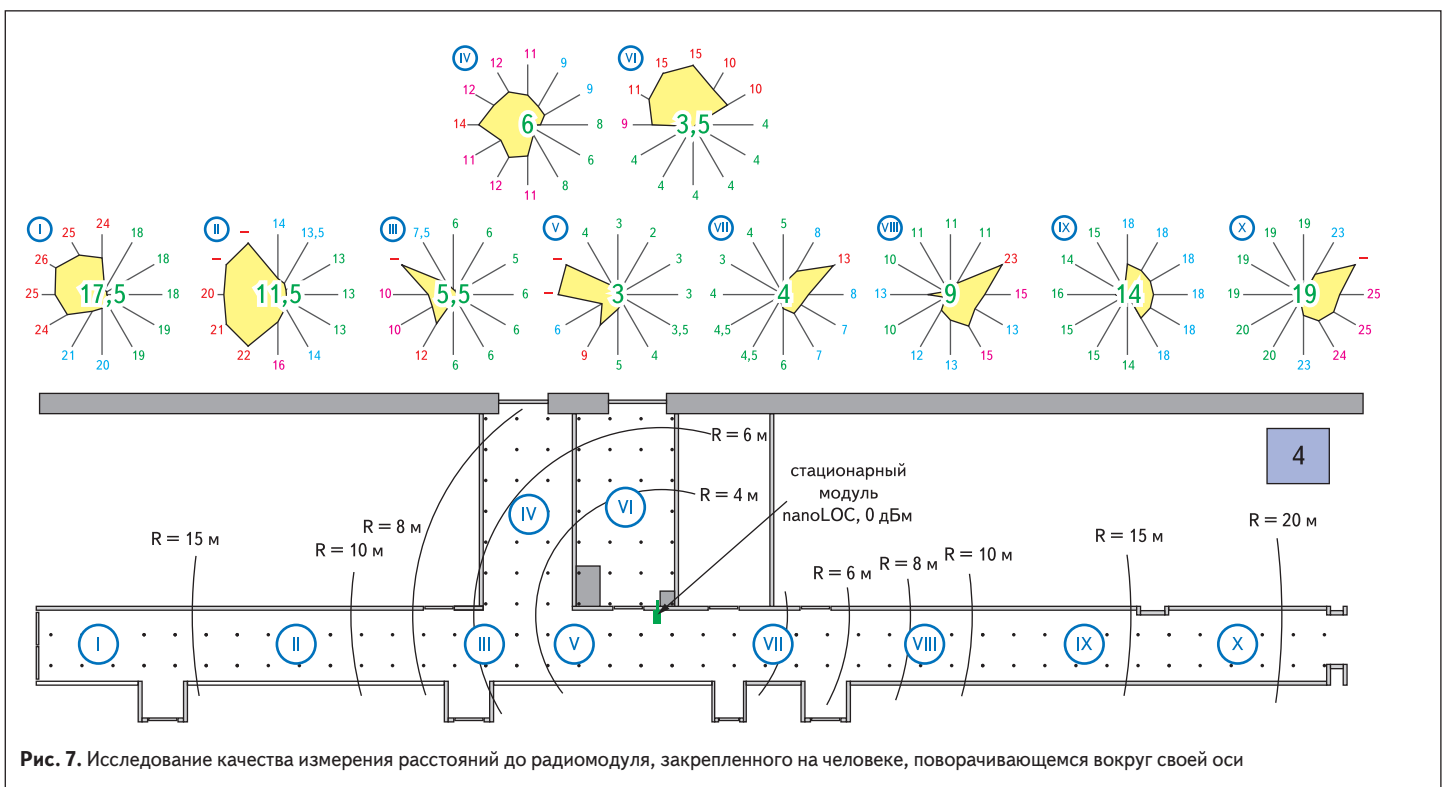
нии луча по телу человека иногда происходят искажения.

Было также зафиксировано, что если человек находился в одной из двух красных зон (20 и 17–18 на рис. 5), перекрывающих луч, отраженный от стены коридора, измерения выдавали завышенный результат, хотя вроде бы ничто не мешало радиосигналу распространяться по прямой, соединяющей приемопередатчики.

Эксперимент 4

В данной серии экспериментов изучалось влияние экранирования радиоизлучения телом человека на результаты измерения расстояний.

На груди участника эксперимента был прикреплен модуль с антенной, ориентированной вертикально. В каждой из тестируемых точек



человек поворачивался на месте на угол 30° (12 раз — 360°). На рис. 6 измеренные значения расстояний в метрах обозначены цифрами у лучей, указывающих соответствующие направления. Зеленым подсвечен луч, указывающий направление, при котором человек повернулся лицом «на 2 часа» (если ориентироваться по схеме помещений).

На рис. 7 в центре каждого круга показано реальное расстояние до стационарного радиомодуля, каждый луч промаркирован значением расстояния, которое было получено в результате радиообмена. Чем больше размер желтой зоны, тем больше погрешность измерения расстояний при некоторых углах поворота. Номер круга соответствует точке с тем же номером на плане. При наличии условий прямой видимости между модулями расстояние измеряется с удовлетворительной точностью. При прохождении сквозь человека излучение ослабляется настолько сильно, что во всех точках измерения отраженный от стен сигнал оказывался выше, и именно он регистрировался модулем. При повороте на 90° относительно луча, направленного на стационарный модуль, показания зависят от расстояния между датчиками: до 6 м измерения правильные, свыше — показания начинают искажаться.

Практически во всех точках, кроме II и VI, качество измерения расстояний можно признать удовлетворительным. Используя 3 или 4 реперных стационарных радиопузла в пределах обозначенной площади, можно достаточно точно рассчитать местоположение мобильного объекта, если заранее провести рекогносцировочные замеры.

Эксперимент 5

Для оценки условий использования технологии nanoLOC для 2D- и 3D-локации на открытом пространстве (конкретно — пустой автостоянке) были размещены 4 реперных стационарных модуля (S1–S4 на рис. 8) и один мобильный узел M. Мобильный узел инициировал цикл измерения расстояний до реперных узлов и передавал собранную информацию на еще один модуль, подключенный к компьютеру (на рис. 8 не показан). В секунду производилось около 10 полных циклов измерения расстояний до всех стационарных модулей. Во время накопления данных условия эксперимента оставались неизменными. Все модули были установлены в полуметре от земли (сухой асфальт).

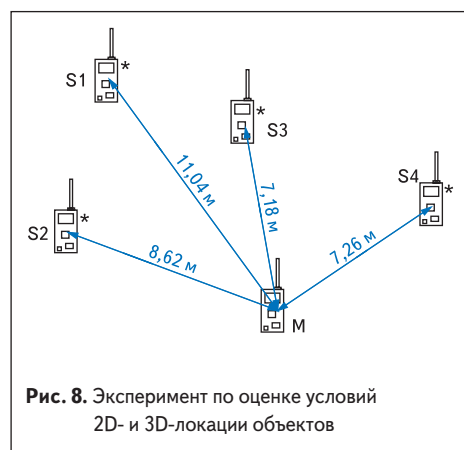


Рис. 8. Эксперимент по оценке условий 2D- и 3D-локации объектов

Таблица. Журнал эксперимента

Расстояние до S1, м	Расстояние до S2, м	Расстояние до S3, м	Расстояние до S4, м
11,50	8,94	7,77	7,43
11,50	9,25	7,60	8,06
11,45	9,03	7,74	8,11
11,84	9,16	7,77	8,08
11,42	9,27	7,57	8,38
11,72	9,10	7,60	7,97
11,65	9,25	7,57	7,97
11,72	9,15	7,93	7,69
11,87	9,44	7,70	7,64
11,68	9,10	7,97	7,44
11,83	9,15	7,78	8,17
11,84	9,31	7,70	7,80
11,90	9,23	7,82	7,77
11,57	9,07	7,58	8,06
11,61	9,33	8,05	8,01
11,70	9,23	8,07	7,87
11,84	9,05	7,70	8,12

В таблице приведена часть журнала эксперимента, где в столбиках указаны измеренные радиометодом расстояния до S1, S2, S3, S4 соответственно. Реальные расстояния измерялись лазерным дальномером и указаны на рис. 8.

Как видно, данные в журнале превышают реальные примерно на полметра, что, в принципе, согласуется с другими экспериментами, проведенными на открытом пространстве. Разброс в показаниях не превышает нескольких десятков сантиметров.

Можно сделать вывод, что для использования технологии nanoLOC при пространственной локализации объектов необходимо применять «интеллектуальные» алгоритмы вычисления местоположения мобильного радиомодуля, учитывающие возможные отражения и искажения сигнала и измеряемых расстояний.

Необъяснимые (неожиданные) результаты экспериментов

В ходе проведения разнообразных экспериментов авторы столкнулись с рядом моментов, когда результаты измерения расстояний не могли

быть обоснованы очевидными причинами. Было отмечено три случая.

Эксперимент 6

Одно из таких аномальных мест было зафиксировано вблизи трансформаторной будки. Она покрыта листовым профильным металлом, ее высота составляет 4,6 м, фотография представлена на рис. 9.

В данном эксперименте один радиомодуль был закреплен на подставке, а второй — на конце деревянного шеста. Измерение расстояний между точками 1 (рис. 10) дало достаточно точный результат, превышающий истинное расстояние на 2 м. Для измерения между точками 3 условий прямой видимости не было, поэтому электромагнитный сигнал отражался от стены ближайшего здания, и результат в точности совпал с кратчайшим расстоянием между двумя точками с учетом отражения от стены (50,15 м).

Однако для точек 2 измеренное радиометодом расстояние (37,76 м) сложно объяснить. В этом эксперименте радиомодули были расположены в условиях «прямой видимости» друг с другом,



Рис. 9. Трансформаторная будка

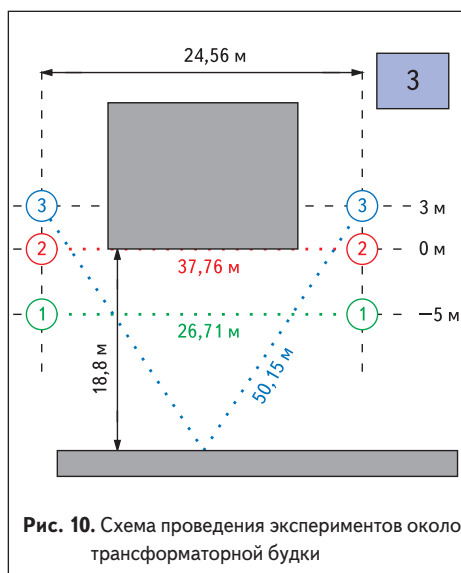


Рис. 10. Схема проведения экспериментов около трансформаторной будки

но всего в 10 см от плоскости стены металлической будки. Измерения четко свидетельствуют, что радиоволна не распространялась по кратчайшему пути между трансиверами. При этом путь ее распространения геометрическими расчетами никак нельзя определить. Даже предположение об отражении от верхнего козырька крыши признано ошибочным, поскольку дает заниженный результат (около 27 м пути). В ходе обсуждения возникла версия переизлучения сигнала трансформаторной будкой (электромагнитная волна на частоте 2,4 ГГц распространяется в металле в 1,5 раза медленнее скорости света), однако данная версия тоже была признана как малореальная.

Эксперимент 7

Во время экспериментов по замеру расстояния на открытой местности, вдоль дороги, было замечено, что примерно на расстоянии 87–88 м (от начального положения) выдаются неадекватные показания (резкое возрастание измеряемого расстояния) или сигнал исчезает совсем.

При смещении одного из модулей на 1–2 м ближе или дальше эффект полностью исчезал. То же самое наблюдалось и при смещении сразу пары радиомодулей в одну или другую сторону на 10 м.

Можно предположить следующие причины этого явления.

- На расстоянии порядка 103 м от начальной точки дорогу пересекает линия электропередачи (около 18 м от аномального места). Высота от дорожного покрытия до проводов электропередачи — 5,3 м, высота подъема датчика от дорожного покрытия — 2 м.
- Также недалеко от отметки 87–88 м кабель, по внешнему виду силовой, уходит в землю и, вероятно, проходит под дорожным покрытием как раз в районе 87–88 м, то есть в месте, где наблюдался данный эффект.

В продолжение изучения этого локального эффекта один из модулей переместили в точку 80 м (относительно начальной точки), а другой расположили точно под линией электропередачи, пересекающей дорогу. В этом положении тоже выдавались неадекватные результаты или измерения совсем отсутствовали. При смещении второго модуля в сторону первого

измерения опять восстанавливались до нормальных значений.

В связи с результатами данных экспериментов можно сделать вывод, что даже на открытых пространствах без каких-либо видимых препятствий можно ожидать, что измерение расстояний будет некачественным.

Подобный эффект необъяснимого завышения дистанции авторы наблюдали также внутри зданий, например, при проведении замеров вдоль длинного коридора: была обнаружена локальная зона площадью менее 1 м² в пределах видимости двух радиомодулей, где значения показаний превышали реальные на 10–15 м.

Заключение

Анализируя результаты, в качестве выводов можно отметить следующее.

1. Технология nanoLOC (передача данных и автоматическое измерение расстояний между радиомодулями) хорошо себя зарекомендовала на открытых пространствах. При множественных отражениях от препятствий (например, в закрытых помещениях) условия распространения сигнала заметно ухудшаются. Наблюдается значительный «набег» в значении измеряемых расстояний. Проведенные эксперименты позволяют утверждать, что в закрытых помещениях в большинстве случаев либо не удастся достичь высокой точности (до 1 м), либо придется тратить дополнительные финансовые ресурсы на организацию избыточности в формируемой сети датчиков.
2. Прогнозируется, что использование направленных антенн с узким углом раскрытия позволит во многих случаях улучшить достоверность при выборе правильных измерений из нескольких, полученных между модулем в конкретной точке и реперными стационарными узлами, то есть оптимальным образом отсеять часть замеров как ложные.
3. Кроме этого, применение методов «искусственного интеллекта» при слежении за движущимися объектами также позволит отбрасывать случайные (вследствие переотражений) замеры расстояний.
4. При проектировании программного обеспечения следует принимать меры, позволяющие отличить точки с отраженным сигналом от точек с прямой видимостью.
5. В некоторых местах, как внутри зданий, так и на открытом пространстве, существуют зоны неадекватного измерения расстояний. Исследователи затрудняются объяснить дополнительный «набег» в показаниях. При локализации системы на местности такие зоны могут быть заранее исследованы, и система «искусственного интеллекта» их не будет учитывать. ■

Данное исследование проведено в рамках проектов, поддерживаемых Министерством образования и науки РФ, Американским фондом гражданских исследований и развития (CRDF) и Правительством Республики Карелия, а также частично финансировалось в рамках других договорных работ. Авторы благодарят И.М. Некрылову за помощь при подготовке статьи.