

# Влияние количества используемых точек доступа на точность определения местоположения мобильного объекта

на точность определения местоположения мобильного объекта

**Сенсорные сети малого радиуса действия находят все большее применение в повседневной жизни. Локализация мобильного объекта с помощью сенсорных сетей на основе технологии nanoLOC является перспективной задачей и представляет интерес для исследования.**

Мстислав Сиверс, д. т. н.

Дмитрий Волгушев

Сергей Агафонов

Определение местоположения мобильного объекта (МО) в настоящее время является весьма важной задачей ввиду ее востребованности на рынке услуг и широкого распространения глобальных спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Решение задачи позиционирования актуально как на открытом пространстве, так и внутри помещения. В настоящее время точность систем определения местоположения на открытом пространстве с помощью сети наземных станций сотовой связи или систем спутниковой связи известна и составляет около 10 м [1]. В свою очередь, при определении местоположения МО внутри помещения с помощью беспроводных технологий точность систем не превышает 1 м [2–3]. Проверка на практике заявленных

показателей точности определения местоположения МО весьма интересна.

В настоящей статье в качестве объекта исследования была выбрана беспроводная технология позиционирования МО немецкой компании Nanotron под названием nanoLOC (стандарт IEEE 802.15.4a, диапазон ISM 2,4 ГГц). В указанной технологии для позиционирования МО применена одна из модификаций метода определения расстояния Time of Flight (ToF, «время прохождения»), получившая название Symmetric Double Sided Two Way Ranging (SDSTWR, «симметричное двустороннее двухступенчатое измерение расстояний») и являющаяся дальнейшим усовершенствованием метода Round Trip Time (RTT, «время прохождения сигнала в прямом и обратном направлениях»). Технология nanoLOC достаточно широко описана и в настоящее время находит все более широкое применение в прикладных системах локализации МО.

Инициативной группой Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича была проведена серия экспериментов по установлению достижимых на практике значений точности измерения координат МО. В ходе проведенных экспериментов по установлению точности позиционирования МО с помощью технологии nanoLOC использовались 12 плат NanoPAN 5375 DK Boards, основными элементами которых являются радиомодуль NanoPAN 5375 RF Module и микроконтроллер ATmega1284P, а именно от трех до семи точек доступа с заданными координатами (модуль Anchor), относительно которых производилось позиционирование МО (модуль Tag). Эксперимент проводился в два этапа. На первом измерение местоположения производилось в безэховой камере, а на втором — в помещении СПб ГУТ.

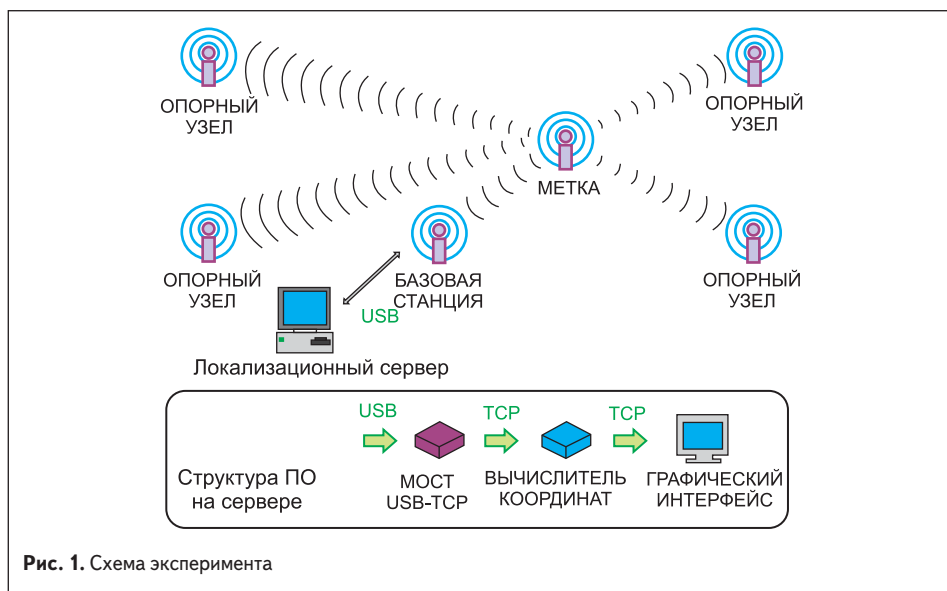


Рис. 1. Схема эксперимента

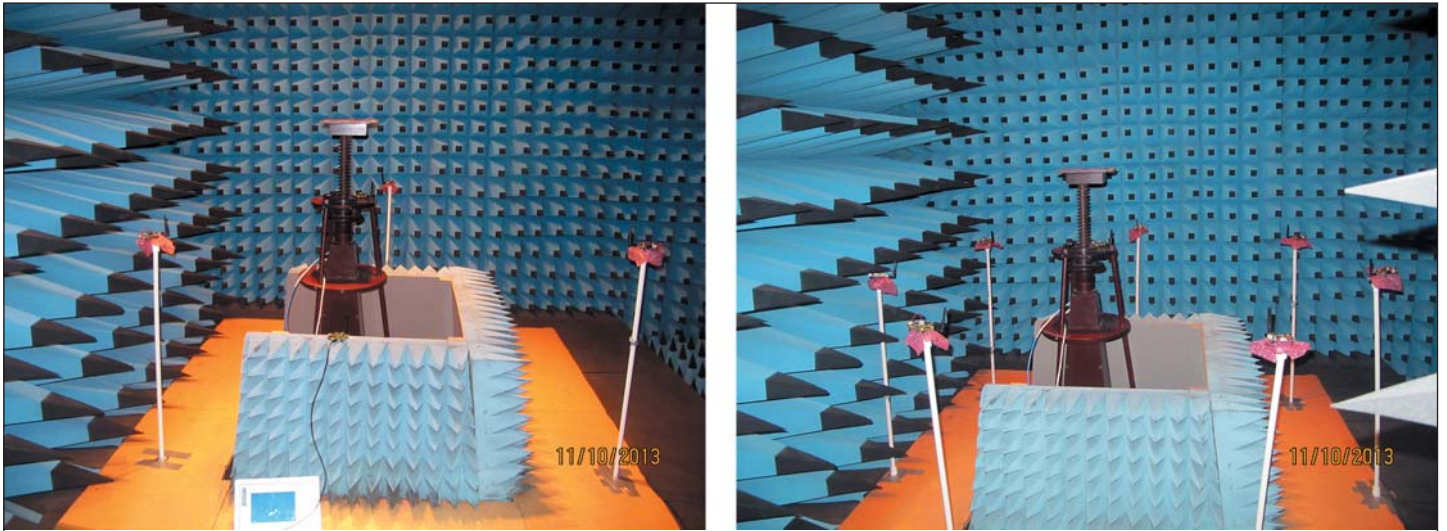


Рис. 2. Расстановка модулей в безэховой камере

Точки доступа располагались в пределах области измерений, обеспечивающей условия прямой видимости между модулем Tag и всеми опорными точками Anchor. Координаты опорных точек Anchor и конфигурация их расположения задавались из соображений максимальной площади покрытия зоны возможного определения местоположения. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

Один из модулей, работающий в режиме базовой станции, подключался к компьютеру с программным обеспечением nanoLOC Location Demo GUI. Опорные точки (Anchor 1–7) размещались на высоте 1,3 м.

Расстановка модулей в безэховой камере приведена на рис. 2.

Для оценки точности технологии было проведено сравнение координат МО, полученных в результате измерения системой nanoLOC, с истинными координатами метки Tag, измеренной с помощью лазерного дальномера. Разработчиками технологии nanoLOC заявлена точность измерений расстояния между модулями порядка 1 м. При этом показатели точности определения местоположения МО разработчиками не приводились.

Рабочая площадь безэховой камеры ОАО «Российский институт радионавигации и времени» представляет собой квадрат с длиной стороны 2,4 м. В процессе эксперимента количество модулей Anchor поэтапно увеличивалось от трех до семи при неизменном положении модуля Tag с координатами  $x = 1,2$  м,  $y = 1,2$  м. Интерфейс программы Location Demo GUI приведен на рис. 3.

В результате эксперимента были получены значения, которые представлены в таблице 1.

Оценку точности позиционирования можно характеризовать точностью определения каждой из координат в отдельности, по вычисленным значениям дисперсии или среднеквадратическому отклонению (СКО). Однако более удобным способом является введение обобщенной оценки, характеризующей ошибку по обоим координатам. Для оценки точности определения положения МО введена величина MD (Mean Distance), которая определяется как среднее

Таблица 1. Результаты эксперимента

Число модулей	Среднее значение измеренных координат, м		Среднее значение ошибки, м		Дисперсия		СКО	
	x	y	x	y	x	y	x	y
3	1,06	1,39	0,14	0,08	0,0019	0,0042	0,0435	0,0648
4	0,79	1,52	0,13	0,05	0,0029	0,0034	0,0538	0,0587
5	0,81	1,47	0,11	0	0,0005	0,0007	0,0226	0,0266
6	0,94	1,54	0,02	0,07	0,00057	0,0006	0,0755	0,0406
7	1	1,46	0,08	0,01	0,002	0,0016	0,0451	0,0398

значение расстояния между действительным и вычисленным положением:

$$MD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}, \quad (1)$$

где  $x_0$  и  $y_0$  — истинные координаты объекта;  $x_i$  и  $y_i$  — измеренные значения координат;  $n$  — количество измерений.

Изменение точности позиционирования, рассчитанное относительно начального — минимального значения точности определения координат при использовании трех опорных

модулей, и результаты подсчета показателей точности приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчетов показателей точности

Размер помещения (длина/ширина), м	Количество модулей	K	MD, м (безэховая камера)
2,4x2,4	3	1	0,17
	4	1,13	0,15
	5	1,51	0,11
	6	1,7	0,1
	7	2,1	0,08

Примечание: K — отношение точности локализации при использовании трех Anchor к точности при использовании дополнительных Anchor

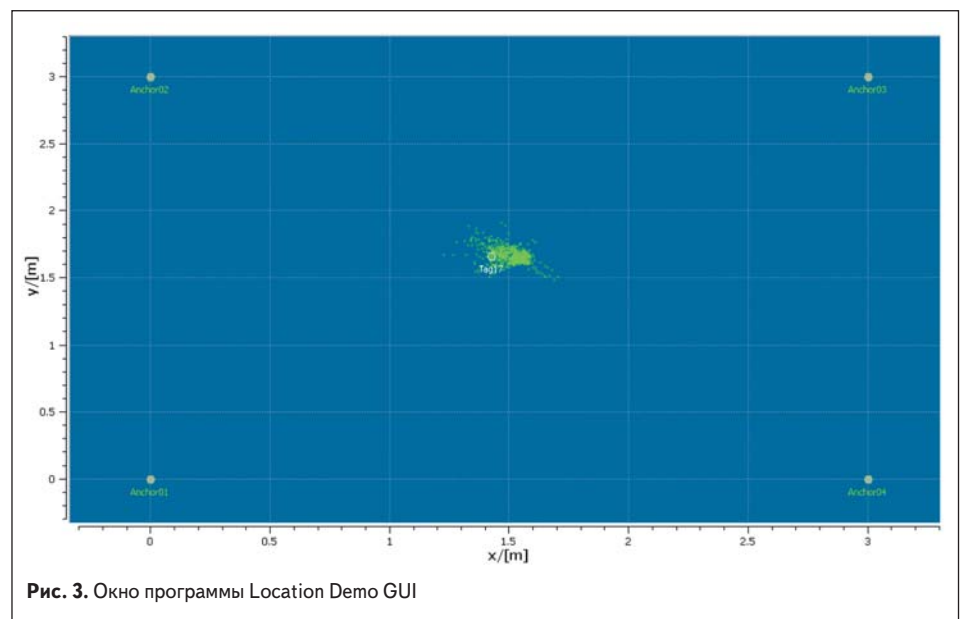


Рис. 3. Окно программы Location Demo GUI

Таблица 3. Результаты эксперимента в здании СПб ГУТ

Число модулей	Среднее значение измеренных координат, м		Среднее значение ошибки, м		Дисперсия		СКО	
	x	y	x	y	x	y	x	y
3	1,27	1,03	0,07	0,17	0,0023	0,0011	0,048	0,0332
4	1,11	1,34	0,09	0,14	0,0035	0,0039	0,0588	0,0679
5	1,17	1,07	0,03	0,13	0,0015	0,0026	0,0386	0,051
6	1,23	1,12	0,03	0,08	0,0019	0,001	0,0436	0,0323
7	1,18	1,26	0,02	0,06	0,0019	0,0014	0,0433	0,37

В проведенных экспериментах все модули Anchor равноудалены от модуля Tag. Относительная ошибка определения местоположения будет определяться отношением величины MD к расстоянию между опорной точкой Anchor и модулем Tag. В процентном отношении ошибка локализации составила в среднем 10%.

При проведении эксперимента в реальных условиях внутри помещения СПб ГУТ координаты и конфигурация положения модулей Anchor устанавливались такими же, как и в случае проведения измерений в безэховой камере. Размер поля измерения был выбран в виде квадрата со стороной, равной 2,4 м. Положение модуля Tag было задано координатами  $x = 1,2$ ;  $y = 1,2$ . Результаты измерений приведены в таблице 3.

Результаты подсчета показателей точности приведены в таблице 4.

Отношение величины MD и расстояния между опорной точкой и меткой, которое характеризует относительную ошибку определения координат, значение которой составляет в среднем 11% относительно истинных значений координат.

По полученным результатам видно, что при включении одной дополнительной опорной точки точность позиционирования в среднем увеличивается на 16,5% для безэховой камеры и на 17% для помещения (рис. 4).

При этом наибольшее увеличение точности (в среднем 27%) наблюдается при включении пятой и шестой опорных точек (для измерений в безэховой камере и в помещении соответственно). Дальнейшее увеличение числа опорных точек дает меньший прирост точности не более 15%.

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов, представленных на рис. 4, видно, что значения точности определения местоположения в безэховой камере и в реальном помещении не одинаковы. Разница в результатах объясняется наличием эффекта многолучевости распространения сигналов. Степень влияния многолучевости на точность измерения местоположения с помощью технологии nanoLOC составляет около 1% и не вносит существенной погрешности в результаты измерений. Результирующее значение точности локализации равняется в среднем 0,19 м (для условий малых расстояний). Из экспериментов видно, что подключение дополнительных опорных точек доступа позволяет повысить значения точности позиционирования при использовании беспроводной технологии nanoLOC. Степень влияния дополнительных опорных точек неодинакова, количество используемых в процессе локализации МО опорных точек необходимо выбирать из условий получения заданных (необходимых) по-

Таблица 4. Результаты расчетов показателей точности

Размер помещения (длина/ширина)	Количество модулей	K	MD, м (здание СПб ГУТ)
2,4x2,4	3	1	0,19
	4	1,12	0,17
	5	1,36	0,14
	6	1,9	0,1
	7	2,11	0,09

Примечание: K — отношение точности локализации при использовании трех Anchor к точности при использовании дополнительных Anchor

казателей точности. Из полученных в ходе эксперимента данных очевидно (рис. 4), что в определенный момент наступает эффект «насыщения», при котором подключение дополнительных точек доступа не будет давать существенного прироста точности позиционирования. Таким образом, при планировании и построении системы позиционирования на основе беспроводной технологии nanoLOC количество используемых опорных точек доступа целесообразно выбирать исходя из соотношения «необходимые значения точности позиционирования/общая стоимость системы локализации». Для масштабов представленных экспериментов использование пяти опорных точек является оптимальным.

Исходя из представленных результатов, можно сделать вывод о том, что полученная точность позволяет использовать систему позиционирования на основе технологии nanoLOC для широкого круга задач, в частности, фиксации передвижения сотрудников в офисных зданиях. Для повышения точности целесообразно применять программные алгоритмы, способные учесть явление многолучевости и отсутствие прямой видимости между меткой и опорной точкой, а также методы оценки результатов измерений и способы их оптимизации. Для осуществления процедуры позиционирования, как на открытом пространстве, так и внутри зданий, целесообразно использовать метод интеграции глобальной и локальной системы позиционирования. Например, совместная работа системы GPS и сенсорной сети nanoLOC позволит устранить снижение точности определения местоположения внутри зданий, которое в скором времени может стать одним из приоритетных направлений развития услуг позиционирования МО. ■

## Литература

1. Rainer M. Overview of Current Indoor Positioning Systems// Geodesy and Cartography. 2009. № 35(1).
2. Пат. US007843379B2 (США). Symmetrical Multi-Path Method For Determining The Distance Between Two Transmitter-Receiver / Lars Menzer & Co. // № 896963. Заявлено 06.05.2008. Оpubл. 30.11.2010.
3. Мошечкин А. П., Галов А. С., Волков А. С. Локация в беспроводных сетях датчиков стандарта nanoLOC (IEEE 802.15.4a) // Информационные технологии. 2011. № 8.

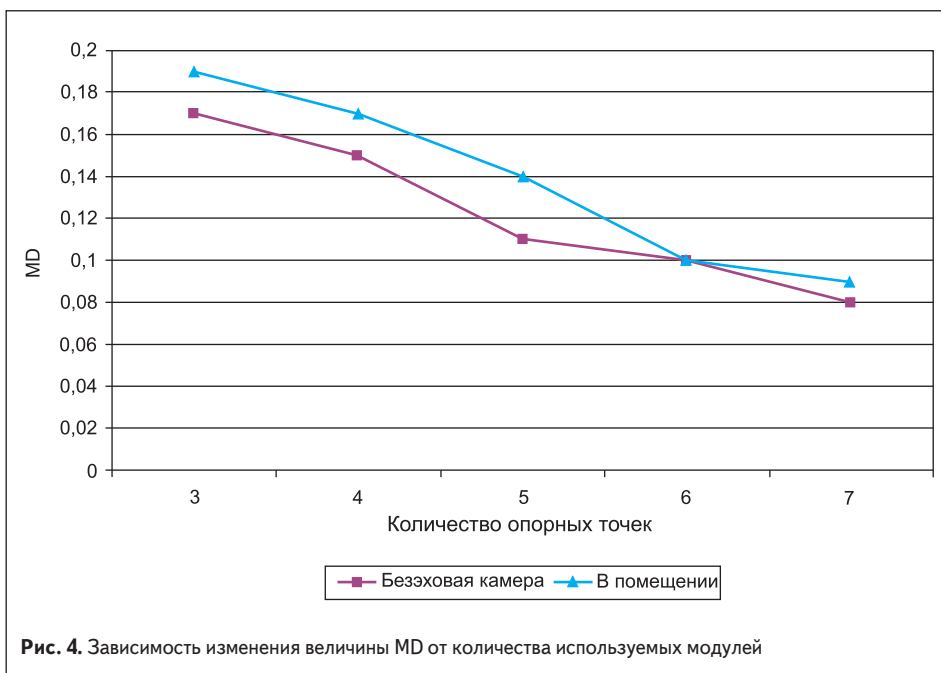


Рис. 4. Зависимость изменения величины MD от количества используемых модулей