

МЕТОД ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЫСОТЫ МОБИЛЬНОГО УЗЛА

Воронов Р.В.¹, Волков А.С.^{1,2}, Региня С.А.^{1,2}, Федоров А.А.^{1,2}, Мошевикин А.П.^{1,2}

¹ ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, Россия (185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33), e-mail: rvoronov@sampo.ru

² ООО «Наносети», Петрозаводск, Россия (185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33), e-mail: alexmou@lab127.ru

Современные датчики атмосферного давления могут быть использованы в качестве дополнительного источника информации при расчете местоположения объектов в системах локации. Датчик давления, размещенный на мобильном объекте, позволяет с некоторой точностью вычислять абсолютное положение объекта по высоте. Из-за случайной природы показаний датчика точный расчет высоты объекта возможен только при усреднении нескольких последовательных результатов измерений. В работе предложен способ оценивания высоты мобильного датчика атмосферного давления на основе усреднения разницы его показаний и показаний нескольких стационарных датчиков с известной высотой. Описаны условия проводимых экспериментов, приводится оценка точности определения высоты положения датчика при различном количестве обработанных данных. Построена математическая модель, в которой для оценки точности измерений используется дисперсия разности показаний. Приведено теоретическое обоснование улучшения точности определения высоты при использовании нескольких опорных датчиков, и приведена оценка точности расчета высоты по нескольким датчикам. Поставлена задача оптимизации, в которой ищется набор стационарных датчиков, обеспечивающих наилучшую точность измерений. Даны рекомендации по применению полученных результатов на практике.

Ключевые слова: датчики давления, определение высоты, локация мобильных объектов, RealTRAC

A METHOD OF DISTRIBUTED PRESSURE SENSORS DATA PROCESSING FOR ESTIMATION OF THE ALTITUDE OF A MOBILE UNIT

Voronov R.V.¹, Volkov A.S.^{1,2}, Reginya S.A.^{1,2}, Fedorov A. A.^{1,2}, Moschevikin A.P.^{1,2}

¹ «Petrozavodsk State University», Petrozavodsk, Russia (33, Lenin Str., 185910, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia), e-mail: rvoronov@sampo.ru

² «Nanoseti, LTD», Petrozavodsk, Russia (33, Lenin Str., 185910, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia), e-mail: alexmou@lab127.ru

Modern pressure sensors can be used to improve localization accuracy in local positioning systems. A mobile object altitude estimation can be obtained by processing the pressure sensor data. High accuracy of the estimation can be only achieved by processing a number of consecutive measurements due to their stochastic nature. The present paper provides an algorithm for calculating mobile object altitude estimation as a mean value of a number of measurements from the fixed nodes with known altitudes. The estimated variance and bounds are revealed for different number of the conducted measurements. It is shown that processing more samples from one sensor gives larger contribution to accuracy than using data from more distributed sensors. The algorithm of choosing the optimal set of sensors for altitude estimation is proposed in the last part of the paper. Some useful recommendations on how to use the derivations in practice are also described.

Key words: pressure sensors, altitude estimation, local positioning system, RealTrac.

Введение

Современные компактные датчики атмосферного давления на основе MEMS-технологий нашли применение в самых различных областях. Наиболее широко распространены датчики атмосферного давления, встраиваемые в современные сотовые телефоны.

Используемые в авиации инерциальные системы навигации [6] позволяют рассчитывать оценку локации объекта (в том числе и высоту полета), отклонение которой от истинного положения без корректировки увеличивается с течением времени. Применение атмосферных датчиков давления позволяет значительно повысить точность определения высоты полета [7], хотя в силу изменчивости атмосферного давления в долгосрочном периоде абсолютную высоту можно измерять, только используя дополнительные данные, например от GPS-модулей.

Для ряда приложений точного определения абсолютной высоты не требуется. В таких случаях достаточно зафиксировать лишь изменение положения объекта по высоте. В [11] авторы оценивают точность определения фактов падения людей при ходьбе на основе резких отклонений в показаниях датчиков давления. Такие системы позволяют медицинскому персоналу быстрее оказывать помощь людям в специальных учреждениях. Подобные системы относятся к классу приложений, использующих шаблоны поведения человека при ходьбе [10]. Датчики давления, закрепленные на теле человека и используемые совместно с датчиками ускорения, значительно повышают точность определения высоты положения человека при ходьбе, а также при перемещениях между этажами по сравнению с использованием только датчиков ускорения [5]. В [5; 8] авторы анализируют точность определения относительной высоты, используя датчик с заранее известной высотой (опорный датчик). Высота рассчитывается по разнице между показаниями давления опорного датчика и датчика, закрепленного на объекте (мобильный датчик).

Поскольку датчики измеряют давление с некоторой погрешностью, а атмосферное давление с течением времени меняется, то вычисление абсолютной высоты всегда сопряжено с ошибками.

Использование показаний от одного опорного и одного мобильного датчиков с целью определения относительной высоты положения последнего возможно только при соответствующем усреднении показаний. Однако при усреднении за большой период времени точность определения высоты может ухудшиться: сглаживание показаний может нивелировать резкие изменения положения датчика по высоте. Дополнительным ограничением при использовании усредненных показаний является энергопотребление. Чем больше данных используется для усреднения за один и тот же период времени, тем больше энергозатрат требуется на получение соответствующих показаний. Это особенно критично при использовании мобильных датчиков с автономным питанием.

Использование данных от акселерометра, гироскопа и/или магнетометра незначительно улучшает точность определения высоты, поскольку точность у датчиков

давления выше, чем у остальных [8]. Существенно повысить точность можно, используя несколько опорных датчиков атмосферного давления.

Предложенный в работе способ расчета оценки высоты датчика основан на усреднении данных от нескольких опорных датчиков давления. В работе приводятся результаты расчета высоты положения датчика при различном количестве данных и различном количестве датчиков. Выполнен анализ причин отклонения скорости уменьшения эмпирической дисперсии оценки высоты при увеличении количества данных по сравнению с теоретической дисперсией; построена соответствующая модель. В заключение приводятся: способ расчета доверительного интервала оценки используемой для расчета высоты положения датчика, результаты расчетов дисперсии при различном количестве показаний датчиков и способ выбора оптимального набора датчиков для расчета наилучшей в определенном смысле оценки неизвестной высоты.

Методы

Описание системы сбора данных

Для сбора данных о давлении использовались девять устройств системы RealTRAC™ [9]. Из них восемь стационарных устройств Access Point (рисунок 1) и одно мобильное устройство RIO (рисунок 2).



Рис. 1. Стационарное устройство Access Point, используемое в качестве опорного датчика



Рис. 2. Мобильное устройство RIO, оснащенное датчиком давления

Основное назначение стационарных устройств Access Point – формирование зоны покрытия беспроводной сети, объединение проводного и беспроводного сегментов сети и передача данных от мобильных устройств на сервер. Также данные устройства используются в качестве стационарных реперных точек с заранее известными трёхмерными координатами для определения местоположения мобильных устройств RIO.

Во все устройства встроен цифровой датчик давления BMP085 производства компании Bosch Sensortec. BMP085 основан на пьезорезистивной технологии и имеет высокую точность, линейность показаний и термостабильность. Разрешающая способность датчика 1 Па. Значения абсолютной и относительной точности измерения давления при различных внешних условиях показаны в таблице 1 [3].

	Внешние условия	Значение в гПа
Абсолютная точность	700 — 1100 гПа 0 — +65 °С	+/- 1,0
300 — 700 гПа 0 — +65 °С		+/- 1,0
300 — 1100 гПа -20 — 0 °С		+/- 1,5
Относительная точность	700 — 1100 гПа 25 °С	+/- 0,2
0 — 65 °С p = const		+/- 0,5

Таблица 1. Значения абсолютной и относительной точности показаний датчика BMP085 при различных внешних условиях.

Датчик может работать в различных режимах внутреннего усреднения. Эти режимы и соответствующие им среднеквадратические отклонения приведены в таблице 2 [3].

Режим	Количество значений для усреднения	Уровень среднеквадратического отклонения в Па
низкое энергопотребление	1	6
стандартный	2	5
высокое разрешение	4	4
сверхвысокое разрешение	8	3

Таблица 2. Уровень среднеквадратического отклонения для различных режимов внутреннего усреднения.

При нормальных условия работы все устройства системы RealTRAC™ периодически считывают показания датчика с заданной частотой сэмплирования, производят перерасчет значений внутренних регистров датчика в абсолютное давление в паскалях и отправляют результат на сервер. Стоит отметить, что во всех экспериментах, приведенных в данной статье, используется более точный алгоритм расчета абсолютного давления с вещественными числами [4], а не рекомендуемый производителем [3]. Использование вещественных чисел позволяет избежать ошибок округления, свойственных целочисленной арифметике.

Система RealTRAC™, кроме прочего, позволяет вычислять 3D-локацию мобильных радиоустройств в зданиях, используя измерения расстояний методом Time-Of-Flight (TOF) и измерения встроенных датчиков [1; 2]. Как показано в [12], датчики давления могут быть использованы для определения этажа в многоэтажных зданиях.

В данной работе анализируется использование информации только от датчиков давления, без комбинирования ее с данными систем локации, построенных на иных принципах.

При проведении экспериментов опорные устройства были закреплены в здании на различных заранее известных высотах. Мобильное устройство находилось внутри здания на неизвестной высоте. Давление в устройствах измерялось с точностью до десятых долей Паскаля с частотой 1 Гц в течение 60 минут. Моменты времени и результаты считывания показаний с датчиков фиксировались на сервере в регистрационных файлах для последующего анализа. Такая схема с централизованным характером хранения информации применялась, поскольку в долгосрочном периоде внутренние часы устройств быстро расходятся, и синхронность снятия показаний перестает соблюдаться.

Все девять устройств, находящихся на одной высоте, имели разные, фиксированные погрешности в абсолютных измерениях. Для наглядности на рисунке 3 представлены показания датчиков давления от двух стационарных устройств, размещенных рядом на одной высоте. На рисунке приведен типичный разброс данных при достаточно стабильном

атмосферном давлении за период около 20 минут. Смещение по оси ординат среднего значения показаний каждого датчика связано с недостаточной точностью измерения абсолютного давления (± 100 Па). При использовании подобных датчиков в составе работающей системы локаций необходимо выполнять предварительную калибровку показаний для каждого отдельного устройства, т.е. определить величину смещения каждого датчика относительно остальных.

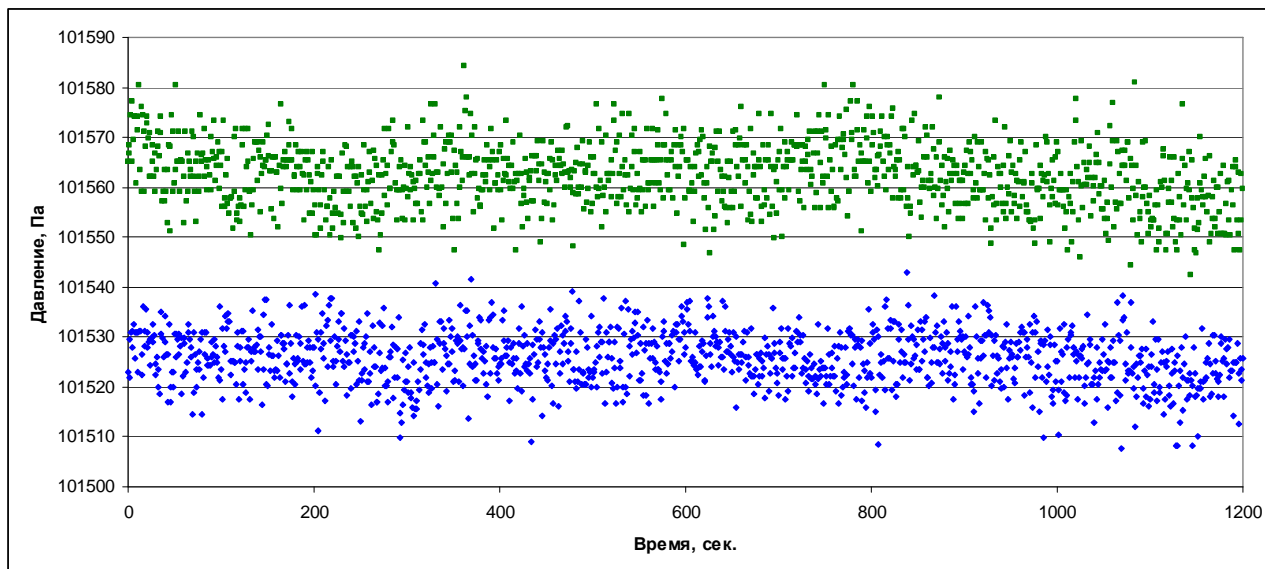


Рис. 3. Пример показания двух датчиков давления за период около 20 минут.

Оценка высоты по давлению

Поскольку датчики измеряют атмосферное давление с некоторой погрешностью, то можно рассматривать показания датчиков как случайные процессы. Оценка неизвестной высоты мобильного устройства и ее точность можно рассчитать, используя предложенную ниже стохастическую модель и соответствующие методы прикладной статистики.

Пусть N датчиков измеряют атмосферное давление в моменты времени $t = 1, \dots, T$. Датчик j закреплен на высоте h_j относительно некоторой точки с высотой h_0 (начала отсчета). Мы полагаем, что датчики откалиброваны относительно друг друга, а давление с ростом высоты уменьшается линейно с коэффициентом k . Точная формула вычисления высоты по показаниям датчиков:

$$h = 44300 \cdot \left(1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{5,255}} \right),$$

где $P_0 \approx 101,325$ КПа [10]. В случае небольшого диапазона изменения давления (при абсолютных давлениях ≈ 100 КПа) допущение о линейности h от P справедливо.

Обозначим через X_{jt} – показание датчика j в момент времени t . Значения показаний датчиков можно представить в следующем виде:

$$X_{jt} = p_t - kh_j + \varepsilon_{jt},$$

где p_t – значение атмосферного давления в точке начала отсчета высоты (h_0) в момент времени t , ε_{jt} – случайная величина, равная погрешности показаний датчика j в момент времени t .

Исследование показаний датчиков показало, что погрешности измерений ε_{jt} нельзя рассматривать как независимые случайные величины. Это связано с наличием не контролируемой систематической погрешности датчиков, которая проявляется в виде автокорреляции значений показаний (см. далее раздел **Результаты экспериментов**). Поэтому будем предполагать, что для каждого j случайные величины ε_{jt} зависимы, но имеют одинаковую функцию распределения с нулевым математическим ожиданием. Чем больше интервал времени между двумя измерениями, тем слабее связь между ними. Поэтому будем считать, что ковариации случайных величин ε_{jt} для каждого j зависят от разностей моментов времени:

$$R_j(\tau) = \text{cov}(\varepsilon_{jt}, \varepsilon_{jt+\tau}).$$

Кроме того, считаем, что ε_{jt} и ε_{js} независимы $i \neq j$ и любых t и s .

Обозначим $Z_{jt} = X_{jt} + kh_j = p_t + \varepsilon_{jt}$. Таким образом, Z_{jt} – значения показания датчика j в момент времени t , если бы он находился на высоте h_0 .

Пусть имеется еще один датчик, высота которого h' не известна, но имеются его показания в моменты времени $t = 1, \dots, T$. Будем рассматривать эти показания как случайный процесс $X'_t = p_t + u + \varepsilon'_t$, где $u = -kh'$, ε'_t – погрешность показания в момент времени t . Случайные величины ε'_t также имеют одинаковую функцию распределения с нулевым математическим ожиданием и ковариацией, зависящей от разностей моментов времени:

$$r(\tau) = \text{cov}(\varepsilon'_t, \varepsilon'_{t+\tau}).$$

Кроме того, считаем ε'_t независимыми от ε_{jt} при любых j в момент времени t . Введем обозначение для разницы между показаниями мобильного датчика и стационарного датчика j в момент времени t :

$$\xi_{jt} = X'_t - Z_{jt} = u + \varepsilon'_t - \varepsilon_{jt}.$$

Очевидно, что ξ_{jt} – случайные величины, которые для каждого j имеют одинаковую функцию распределения. Поскольку математическое ожидание величин ε'_t и ε_{jt} равно нулю, то математическое ожидание всех ξ_{jt} равно u . Очевидно, что определение величины u позволит определить неизвестную высоту h' . Поэтому следует ограничиться задачей определения оценки для u , поскольку из характеристик этой оценки можно без труда определить характеристики h' .

В качестве оценки u можно использовать $\bar{\xi}$:

$$\begin{aligned} \bar{\xi} &= \frac{1}{NT} \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T \xi_{jt} = u + \frac{1}{NT} \left(\sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T \varepsilon'_t - \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T \varepsilon_{jt} \right) = \\ &= u + \frac{1}{NT} \left(N \sum_{t=1}^T \varepsilon'_t - \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T \varepsilon_{jt} \right) = u + \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \varepsilon'_t + \frac{1}{NT} \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T \varepsilon_{jt}. \end{aligned} \quad (1)$$

Поскольку математическое ожидание величин ξ_{jt} равно u , то $M(\bar{\xi}) = u$, откуда следует несмещенность оценки $\bar{\xi}$.

Дисперсия $\bar{\xi}$ равна:

$$D(\bar{\xi}) = \frac{1}{T^2} \sum_{s=1}^T \sum_{t=1}^T r(|s-t|) + \frac{1}{N^2 T^2} \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^T \sum_{t=1}^T R_j(|s-t|).$$

Обозначим:

$$r = \frac{1}{T^2} \sum_{s=1}^T \sum_{t=1}^T r(|s-t|), \quad R_j = \frac{1}{T^2} \sum_{s=1}^T \sum_{t=1}^T R_j(|s-t|).$$

Тогда формула для дисперсии $\bar{\xi}$ упрощается:

$$D(\bar{\xi}) = r + \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N R_j. \quad (2)$$

Усредняя по времени (T) и по датчикам (N) зарегистрированные разницы между показаниями датчиков ξ_{jt} , получаем оценку для u (формула 1). Дисперсия этой оценки определяет точность расчета u для заданных T и N , поэтому ее можно использовать для построения доверительного интервала оценки. Также можно найти оценку математического ожидания и доверительный интервал для $h' = -u/k$.

Результаты экспериментов

Для расчетов оценки (1) и ее дисперсии (2) использовались показания девяти опорных датчиков и одного мобильного датчика за 60 минут, полученные из регистрационных файлов

центрального сервера (см. выше **Описание системы сбора данных**). На рисунке 4 приведен график выборочной автокорреляционной функции $k(\tau)$ разницы показаний двух датчиков, рассчитанной следующим образом. Пусть $\tilde{X}_{11}, \dots, \tilde{X}_{1T}$ и $\tilde{X}_{21}, \dots, \tilde{X}_{2T}$ – выборка показаний первого и второго датчиков. Обозначим разницы между показаниями $\tilde{\xi}_t = \tilde{X}_{1t} - \tilde{X}_{2t}$ в моменты измерений $t = 1, \dots, T$. Для каждого τ оценка автокорреляции $k(\tau)$ рассчитывалась по формуле выборочного коэффициента корреляции между выборками $\tilde{\xi}_1, \dots, \tilde{\xi}_{T-\tau}$ и $\tilde{\xi}_{1+\tau}, \dots, \tilde{\xi}_T$. Для всех значений τ коэффициент корреляции значительно отличался от нуля.

На рисунке 4 ось абсцисс соответствует τ – интервалу между измерениями показаний датчиков, ось ординат – $k(\tau)$. Из графика видно, что значение автокорреляции медленно уменьшается с увеличением τ , это связано с наличием автокорреляции у ошибок измерений \mathcal{E}_{jt} .

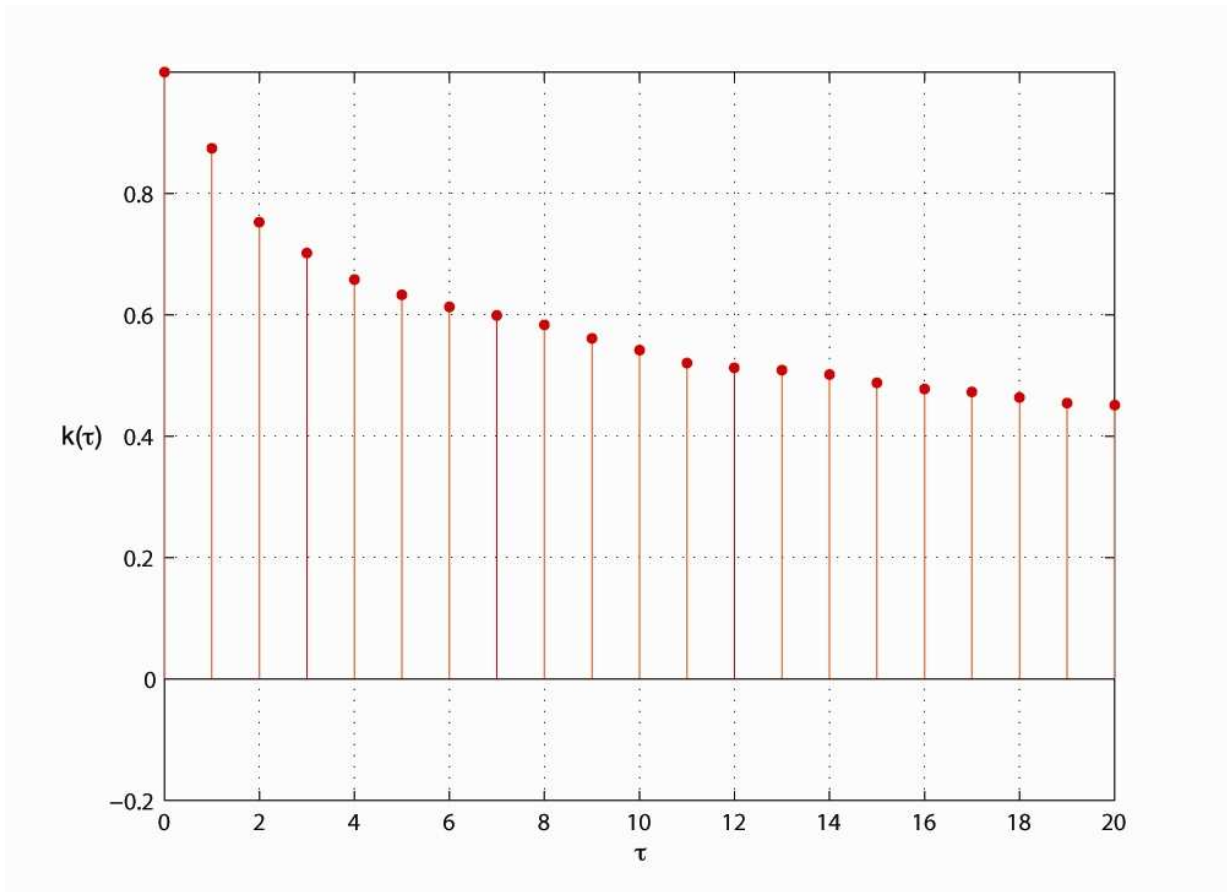


Рис. 4. Оценка автокорреляции $k(\tau)$ разницы показаний двух датчиков, где τ – интервал между моментами времени, когда измерялись разницы показаний

Кроме того, был рассчитаны значения оценок среднеквадратического отклонения $\sigma(\bar{\xi})$ при различных N и T (таблица 3).

	$N = 1$	$N = 2$	$N = 3$	$N = 4$	$N = 5$	$N = 6$	$N = 7$	$N = 8$	$N = 9$
$T = 1$	8,17	7,08	6,66	6,47	6,32	6,24	6,21	6,16	6,13
$T = 8$	4,44	3,70	3,45	3,35	3,25	3,22	3,24	3,21	3,18
$T = 16$	3,66	3,04	2,79	2,69	2,60	2,57	2,58	2,55	2,52
$T = 24$	3,25	2,71	2,45	2,35	2,23	2,21	2,22	2,19	2,16
$T = 32$	3,07	2,58	2,30	2,21	2,10	2,07	2,09	2,06	2,03
$T = 40$	2,95	2,48	2,16	2,07	1,96	1,92	1,94	1,92	1,88
$T = 48$	2,80	2,36	2,06	1,96	1,85	1,83	1,85	1,82	1,79

Таблица 3. Оценка $\sigma(\bar{\xi})$ при различных N и T

Например, если с каждого из трех датчиков взять по 24 показания и усреднить их, то получаем оценку среднеквадратического отклонения (СКО), равную 2,45 Па, что соответствует ширине доверительного интервала, равной 38 см при оценке высоты мобильного датчика с надежностью 0,95.

Актуальной является задача о том, какой набор показаний дает оценку с большей точностью при фиксированном $N \cdot T$. Если использовать большие N , то будет задействовано больше устройств. Если использовать большие T , то мы можем столкнуться с ограничениями, описанными во введении (нечувствительность к изменениям высоты мобильного датчика или энергопотребление). Рассмотрим значения оценок для $\sigma(\bar{\xi})$ при различных комбинациях числа датчиков N и числа показаний T от каждого датчика при фиксированном общем числе показаний $N \cdot T = 32$ (таблица 4).

Число	Число	Оценка	Общее
1	8	4,44	8
8	1	6,16	
1	16	3,66	16
2	8	3,70	
1	24	3,25	24
3	8	3,45	
1	32	3,07	32
2	16	3,04	
4	8	3,35	
1	40	2,95	40
5	8	3,25	
1	48	2,80	48
2	24	2,71	
3	16	2,79	
6	8	3,22	

Таблица 4. Оценка $\sigma(\bar{\xi})$ при фиксированном $N \cdot T$

Из таблицы 4 видно, что при одном и том же общем числе показаний датчиков СКО почти всегда увеличивается с ростом числа датчиков N и уменьшением T . Следовательно, большая точность определения локации мобильного датчика в среднем получается путем

увеличения числа T усредняемых показаний одного датчика, а не увеличением общего числа датчиков N при фиксированном количестве показаний $N \cdot T$. Поскольку в некоторых случаях СКО все же больше, чем при меньшем T при фиксированном $N \cdot T$ (см., например, СКО для $T = 48$, $N = 1$), то актуальной является задача определения подмножества датчиков для наилучшего усреднения (и дальнейшего определения неизвестной высоты положения датчика) при фиксированном числе показаний $N \cdot T$.

Оптимальное количество опорных датчиков

Для определения оптимального количества опорных датчиков N , используемых для расчета оценки неизвестной высоты положения датчика (1), введем дополнительное обозначение для усредненной разницы между показаниями j -го стационарного и мобильного датчиков:

$$\bar{\xi}_j = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \xi_{jt} = u + \frac{1}{T} \left(\sum_{t=1}^T \varepsilon'_t - \sum_{t=1}^T \varepsilon_{jt} \right).$$

Дисперсия этой величины:

$$D(\bar{\xi}_j) = \frac{1}{T^2} \sum_{s=1}^T \sum_{t=1}^T r(|s-t|) + \frac{1}{T^2} \sum_{s=1}^T \sum_{t=1}^T R_j(|s-t|) = r + R_j.$$

Рассмотрим задачу выбора подмножества S стационарных датчиков, для которых дисперсия разности их усредненного показания и показания мобильного датчика будет минимальной:

$$\eta = \frac{1}{y} \sum_{j=1}^N \bar{\xi}_j x_j,$$

$$y = \sum_{j=1}^N x_j,$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, N,$$

$$D(\eta) \rightarrow \min.$$

где y – количество выбранных датчиков, x_j – признак включения датчика в набор S .

Очевидно, что

$$D(\eta) = r + \frac{1}{y^2} \sum_{j=1}^N R_j x_j$$

Пусть датчики упорядочены по возрастанию дисперсии усредненной ошибки R_j :

$$R_j \leq R_{j+1}, \quad j = 1, \dots, N-1.$$

Последовательно увеличивая количество задействованных датчиков n , вычисляя среднее значение разностей между стационарными датчиками и мобильным

$$\eta_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_j, \quad n = 1, \dots, N,$$

а также его дисперсию

$$D(\eta_n) = r + \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n R_j,$$

можно найти оптимальное n^* , дающее минимум этой дисперсии:

$$D(\eta_{n^*}) = \min_{n=1, \dots, N} \{D(\eta_n)\}.$$

Найденное значение n^* определяет оптимальный набор датчиков $S^* = \{1, \dots, n^*\}$.

Иными словами, использование данных, полученных от датчиков из набора S^* , влечет минимум дисперсии разницы между усредненными показаниями стационарных и мобильных датчиков, а, следовательно, и дисперсии оценки искомой высоты положения датчика.

Если нам известны лишь значения $D(\bar{\xi}_j)$, но не известны R_j , то из (2) следует, что сортировка датчиков по возрастанию величины $D(\bar{\xi}_j)$ приведет нас к упорядочению датчиков по возрастанию R_j .

Предложенный алгоритм может быть использован в real-time системах для выбора оптимального количества опорных датчиков для получения наиболее эффективной оценки неизвестной высоты положения мобильного датчика.

Заключение

Представленные в работе формулы позволяют рассчитывать оценку неизвестной высоты мобильного устройства и определять для нее доверительный интервал, используя данные нескольких опорных датчиков давления ($N > 1$) за некоторый период времени T . Определив по некоторой заранее полученной выборке значения дисперсии для различных N и T и задав желаемый доверительный интервал, можно использовать соответствующие значения N и T в последующих расчетах. В зависимости от конечной задачи и существующих ограничений можно для заданного доверительного интервала выбрать наиболее подходящую пару (N, T) . Показано, что, несмотря на то, что в среднем увеличение N предпочтительнее увеличения T при фиксированном $N \cdot T$, в некоторых случаях увеличение N приводит к увеличению доверительного интервала, а, следовательно, к

уменьшению точности рассчитываемой оценки высоты. Оптимальное количество датчиков зависит от дисперсий показаний каждого из датчиков. Так, при большой дисперсии, использование показаний соответствующего датчика дополнительно к показаниям остальных может увеличить дисперсию оценки высоты. Предложен алгоритм выбора оптимального набора опорных датчиков для расчета оценок неизвестной высоты датчиков.

Оценка высоты, рассчитываемая по данным датчиков давления, может быть использована для уточнения локации мобильного устройства в системах локального позиционирования в многоэтажных зданиях [12]. В качестве продолжения данной работы можно провести количественный анализ повышения точности локации за счет использования датчиков давления.

Список литературы

1. Мощевикин А.П., Галов А.С., Волков А.С. Локация в беспроводных сетях датчиков стандарта nanoLOC // Информационные технологии. – 2011. – № 8. – С. 43–47.
2. Мощевикин А.П., Галов А.С., Волков А.С. Точность расчета локации в беспроводных сетях датчиков стандарта nanoLOC // Информационные технологии. – 2012. – № 9. – С. 37–41.
3. BMP085 digital pressure sensor data sheet [Электронный ресурс]. – <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/General/BST-BMP085-DS000-05.pdf>. (дата обращения: 10.06.2012).
4. Bosch BMP085 Barometer Floating Point Pressure Calculations [Электронный ресурс]. - <http://wmrx00.sourceforge.net/Arduino/BMP085-Calcs.pdf>. (дата обращения: 10.06.2013).
5. Drift-free dynamic height sensor using MEMS IMU aided by MEMS pressure sensor / M. Tanigawa, H. Luinge, L. Schipper, et al. // 5th Workshop on Positioning, Navigation and Communication WPNC'08. – Hannover, Germany, March 27, 2008. – P. 191–196.
6. Gray R.A. An integrated GPS/INS/baro and radar altimeter system for aircraft precision approach landings / R.A. Gray, P.S. Maybeck // Proceedings of the IEEE 1995 National Aerospace and Electronics Conference NAECON 1995. – Dayton, OH, USA, 1995. – Vol. 1, – P. 161–168.
7. Groves P.D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems / P.D. Groves. – Atrech House, 2008.
8. Miao Z. Robust height tracking by proper accounting of nonlinearities in an integrated UWB/MEMS-based-IMU/baro system / Z. Miao, A. Vydhyathan, A. Young, H. Luinge // Proceedings of the Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2012 IEEE/ION. – Myrtle Beach, SC, USA, 2012. – P. 414–421.

9. Realtrac technology overview / A. Moschevikin, A. Galov, A. Soloviev et al. // in to be published at EvAAL-2013 (CCIS series). – 2013.
10. Sagawa K. Classification of human moving patterns using air pressure and acceleration / K. Sagawa, T. Ishihara, A. Ina, H. Inooka // Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society IECON'98. – Aachen, Germany, 1998. – Vol. 2. – P. 1214–1219.
11. Tolkiehn M. Direction sensitive fall detection using a triaxial accelerometer and a barometric pressure sensor / M. Tolkiehn, L. Atallah, B. Lo, Y. Guang-Zhong // Engineering in Medicine and Biology Society: Annual International Conference of the IEEE EMBC. – Boston, MA, USA, 2011. – P. 369-372.
12. Using Pressure Sensors for Floor Identification in Wireless Sensors Networks / A. Moschevikin, R. Voronov, A. Galov, A. Soloviev // Proceedings of the 1st International Symposium on Wireless Systems IDAACS-SWS. – Offenburg, Germany, September 20-21, 2012. – P. 2-6.

Рецензенты:

Печников Андрей Анатольевич, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Лаборатории телекоммуникационных систем Института прикладных математических исследований Карельского научного центра Российской академии наук, г. Петрозаводск.

Рогов Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и анализа данных математического факультета Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск.