



НАСТРОЙКА КОЭФФИЦИЕНТА ДЕМПФИРОВАНИЯ ОШИБОК БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО СКОРОСТИ

В.И. Мкртчян (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Рассматривается метод автоматического поиска оптимальной жесткости обратной связи при демпфировании ошибок бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС). Сигналы обратной связи пропорциональны рассогласованиям проекций путевой скорости БИНС относительно измерений спутниковой навигационной системы. Критерием оптимальности служит минимальная среднеквадратическая ошибка модуля демпфированной скорости. Тестирование метода осуществлялось в режиме имитационного моделирования работы БИНС среднего класса точности.

Ключевые слова: моделирование, инерциальная система, демпфирование, спутниковая навигационная система.

Введение

Среди всего многообразия навигационных систем особое внимание заслуживают бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), поскольку с их помощью задача навигации летательного аппарата (ЛА) решается автономно — благодаря измерениям абсолютной угловой скорости объекта и ускорения его центра масс. Большинство БИНС авиационного типа определяют следующие параметры движения ЛА:

1) проекция путевой скорости ЛА на горизонтальные оси E , N географического трехгранника ENU_p , начало которого совпадает с центром масс ЛА, ось E направлена на восток, N — на север, U_p — вверх;

2) координаты — географическая широта и долгота;

3) углы географического курса, тангажа, крена.

Чувствительными элементами (ЧЭ) БИНС являются инерциальные приборы — гироскопические датчики угловой скорости (ДУС) и акселерометры. Принцип работы БИНС заключается в математической обработке измерений ЧЭ.

Алгоритм БИНС состоит из двух взаимосвязанных блоков. В первом осуществляется интегрирование показаний акселерометров для получения скорости объекта и повторное интегрирование для получения координат. В рамках второго блока вычисляются углы ориентации объекта благодаря измерениям гироскопов и расчетным угловым скоростям географического трехгранника. Блоки взаимодействуют на этапе преобразования данных, полученных с помощью акселерометров, к проекциям на оси трехгранника ENU_p .

Вследствие инструментальных погрешностей параметры движения вычисляются с ошибками. В частности, ошибки определения проекций скорости ЛА содержат гармонические колебания с периодом Шулера (84,4 мин), средние значения которых пропорциональны смещениям нуля ДУС [1, 2]. Поскольку

вычисление координат осуществляется интегрированием проекций путевой скорости, указанные смещения приводят к нарастанию со временем ошибок по широте и долготе. Это обстоятельство ограничивает время автономной работы БИНС. Так, для систем среднего класса точности ошибка определения горизонтальных координат может достигать 2...5 морских миль за час [5].

Постановка задачи

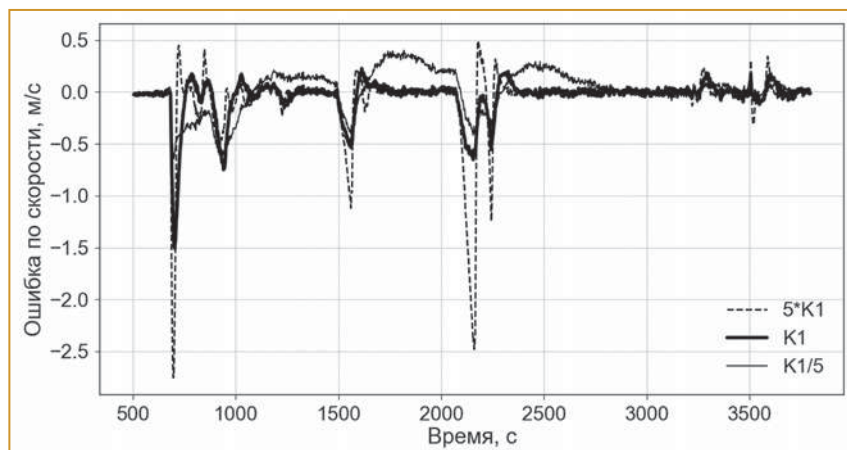
Для борьбы с шулеровскими колебаниями ошибок БИНС создают демпфированные системы с обратной связью, сигналы которой пропорциональны ошибкам δV_E , δV_N проекций путевой скорости БИНС относительно внешнего источника навигационной информации. Так, широко распространен интегрально-радиальный закон управления [1–3], при котором алгоритм БИНС дополняется корректирующими ускорениями:

$$a_E = -K\delta V_E, a_N = -K\delta V_N,$$

поступающими на первый интегратор, и дополнительными угловыми скоростями географического трехгранника:

$$\omega_E = -\frac{K^2}{2g}\delta V_N, \omega_N = \frac{K^2}{2g}\delta V_E,$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Коэффициент пропорциональности определяет жесткость обратной связи, выбор которой представляет основную проблему при построении алгоритма демпфированной БИНС. В настоящей работе рассматривается метод, позволяющий выбрать оптимальную жесткость обратной связи при демпфировании ошибок БИНС по скорости. Критерием оптимальности выступает минимум среднеквадратической ошибки путевой скорости демпфированной БИНС. В качестве внешнего источника информации



Влияние коэффициента K на отклонение демпфированной скорости от эталонного сигнала; $K1$ — оптимальное значение

используется приемник спутниковой навигационной системы (СНС). Для тестирования применялось имитационное моделирование функционирования БИНС среднего класса точности. Проверка алгоритма в рамках моделирования целесообразна по следующим причинам:

- 1) возможность тестирования по большому ансамблю реализаций;
- 2) возможность моделирования движения целевого ЛА;
- 3) доступность эталонных параметров движения, позволяющих оценить ошибки демпфированной системы.

Поиск оптимальной жесткости демпфирования

Большое значение коэффициента демпфирования K обеспечивает малую статическую ошибку демпфированной скорости по сравнению со скоростью внешнего источника и быстрый переходный процесс. С другой стороны, жесткая обратная связь отрицательно сказывается на помехозащищенности, что проявляется в виде возмущаемости демпфированной скорости ошибками внешнего источника и вибрацией объекта. При малом значении K помехозащищенность повышается, но увеличивается статическая ошибка вследствие проявления ошибок инерциальных приборов. Оптимальная жесткость, по-видимому, соответствует компромиссу между вышеизложенными случаями. Предлагается следующий алгоритм поиска оптимального коэффициента:

- 1) задание заведомо большого значения K , соответствующего ярко выраженным ошибкам демпфи-

рованной скорости, вызванным возмущаемостью погрешностей СНС;

- 2) вычисление среднеквадратического отклонения (СКО) демпфированной скорости от некоторого эталонного сигнала;

- 3) уменьшение K на несколько процентов;

- 4) повторение пунктов 2, 3 до тех пор, пока K не станет заведомо малым.

Оптимальная жесткость соответствует минимальному СКО демпфированной скорости относительно эталонного сигнала, для получения которого воспользуемся модулем путевой скорости, вырабатываемым приемником СНС и сдвинутым влево по временной оси на среднее по ре-

ализации значение запаздывания измерений СНС. Правомочность такого подхода оправдана, поскольку время, на которое запаздывают измерения СНС практически постоянное, так как определяется главным образом передачей сигнала от приемника к вычислителю БИНС.

Коль скоро настройка оптимального демпфирования сводится к настройке полосы пропускания демпфированной системы, оптимальные настройки будут зависеть от конкретной инструментальной компоновки, а также от типа подвижного объекта, для которого решается задача навигации.

Испытания

Тестирование проводилось при помощи имитационного моделирования полета Cessna 172 по методике, разработанной в работе [4]. В результате было подготовлено три полетных файла, отличающихся частотой совершения разворотов по курсу и скоростью разворотов. Полученные в результате моделирования параметры движения пересчитывались к измерениям ДУС и акселерометров БИНС с добавлением случайных погрешностей, параметры которых соответствуют среднему классу точности [5–7]. Для ДУС нестабильность нуля от запуска к запуску лежала в пределах $\pm 0,04^\circ/\text{ч}$ с СКО $0,015^\circ/\text{ч}$, нестабильность нуля в запуске представляла собой экспоненциально-коррелированный шум с интервалом корреляции 60 с и СКО соответствовало $0,001^\circ/\text{ч}$. Для акселерометров нестабильность нуля от запуска к запуску лежала в пределах $\pm 0,002 \text{ м/с}^2$ и СКО соответствовало $0,001 \text{ м/с}^2$, нестабильность нуля

Таблица. Результаты поиска оптимальной жесткости обратной связи

Итерации	Число реализаций при различных значениях оптимальной жесткости обратной связи								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K	0,6	0,360	0,216	0,130	0,078	0,047	0,028	0,017	0,010
Полет 1	0	0	0	0	12	27	11	0	0
Полет 2	0	6	7	5	0	1	28	3	0
Полет 3	0	0	0	2	6	30	12	0	0
Всего	0	6	7	7	18	58	51	3	0
СКО ошибки по скорости	2,53	0,87	0,37	0,29	0,20	0,14	0,16	0,24	0,30

в запуске представляла собой экспоненциально-коррелированный шум с интервалом корреляции 60 с и СКО — 0,0001 м/с².

Для каждого полета сформировано 50 реализаций. Погрешности приемника СНС задавались в виде дискретного белого шума с конечным СКО 0,1 м/с. Кроме того, измерения СНС были сдвинуты вправо по временной оси на 0,7 с для моделирования запаздывания.

Влияние различной жесткости обратной связи на отклонение модуля демпфированной скорости от эталонного сигнала показано на рисунке.

Результаты поиска оптимального значения K по всем реализациям представлено в таблице. Начальное значение $K = 0,6$; величина шага, с которым уменьшался коэффициент — 40%.

Согласно таблице, оптимальное демпфирование наблюдается в большинстве случаев при близких значениях коэффициента K . Полученный результат свидетельствует о возможности использования метода для заводской настройки параметров демпфирования в рамках серии инерциальных систем определенного класса точности.

Выводы

Рассмотрен метод автоматического поиска значений коэффициентов обратной связи демпфированной БИНС. Критерием оптимальности выступает минимальное СКО демпфированной скорости относительно эталонного сигнала. В качестве эталонного сигнала используются измерения СНС с поправкой на среднее по реализации значение запаздывания. Тестирование проводилось в рамках имитационного моделирования на большом числе случайных реализаций, соответствующих

одному и тому же классу точности БИНС. Для большинства реализаций оптимальное значение жесткости обратной связи одинаковое, что говорит об эффективности метода. Аналогичное тестирование можно осуществить в режиме камеральной обработки данных на большом числе реализаций, полученных в результате натурных испытаний реальных БИНС, что позволит найти оптимальные настройки для систем определенного класса точности.

Список литературы

1. *Salychev O.S.* Verified approaches to inertial navigation. Bauman MSTU Press. 2017. 368 p.
2. *Titterton D.H., Weston J.L.* Strapdown Inertial Navigation Technology, 2nd ed., American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. 2009. 581 p.
3. *Farrell J.A.* Aided Navigation. GPS with High Rate Sensors. McGraw-Hill. 2008. 552 p.
4. *Терешков В.М.* Полунатурное моделирование датчиков инерциально-спутниковых навигационных систем // Наука и образование. Электронный журнал. 2010, №8. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/152269.html> (дата обращения 25.11.2017).
5. *Коркишко Ю.Н. и др.* Бесплатформенные инерциальные навигационные системы на основе волоконно-оптических гироскопов // Гироскопия и навигация. 2014. №1(84). с. 14-25.
6. *Goodall C., Carmichael S., El-Shemy N., Scannel B.* INS Face Off. MEMS vs. FOGs. Inside GNSS, 2012. URL: <http://www.insidegnss.com/node/3123> (дата обращения 26.11.2017).
7. *Пазычев Д.Б.* Балансировка бесплатформенной инерциальной навигационной системы среднего класса точности // Наука и образование. Электронный журнал. 2011. №3. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/168994.html> (дата обращения 25.11.2017).

*Мкртчян Валерий Игоревич — аспирант кафедры «Приборы и системы ориентации стабилизации и навигации» МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Контактный телефон +7(925)023-75-65.
E-mail: bel_val17@mail.ru*

Нейросеть подскажет, что сегодня выпить

В России началась разработка нейросети, которая будет анализировать состояние человека и, исходя из полученных данных, предлагать ему выпить тот или иной напиток.

Нейросеть будет работать на базе мобильного приложения iDrink, предоставляющего бесплатные напитки в барах, кафе и ресторанах. Изначально напитки будут предлагаться на основе анализа прошлого выбора, дня недели, времени суток и геолокации пользователя. Также будет учитываться оценка «уместности» предлагаемого варианта.

Кроме того, в планах разработчиков — снимать данные с фитнес-трекеров, чтобы оценивать уровень стресса и здоровья человека. Сейчас уже ведутся переговоры с несколькими азиатскими про-

изводителями фитнес-браслетов о получении, хранении и обработке такого рода данных.

В результате этого каждый пользователь iDrink сможет получать персонализированные рекомендации по напиткам. «И если, например, мы увидим, что какой-то человек находится в запое, мы сможем отключить ему возможность получения спиртных напитков. А при необходимости даже отправить тревожный сигнал в скорую», — делится планами один из основателей сервиса Вадим Камашев.

Нейросеть будет работать на базе технологии блокчейн. Сейчас к осуществлению проекта уже подключены технические специалисты — выходцы из крупнейших IT-компаний рунета. Полноценный запуск нейросети запланирован на I квартал 2019 г.

idrink.today