Способ повышения эффективности вычислительных комплексов цифрового имитационного моделирования гидроакустической обстановки в реальном масштабе времени

02, февраль 2013

DOI: 10.7463/0213.0531784

Сотников А. А.

УДК 681.883.65

Россия, НИИ ИСУ МГТУ им. Н.Э. Баумана

alex_sotnikov@mail.ru

Введение

В период активного развития современной вычислительной техники широкое применение получили цифровые методы имитационного моделирования, применяемые для решения задач в областях науки и техники, где макетирование и экспериментальное исследование систем требует значительных материальных и временных затрат. Актуальность имитационного моделирования гидроакустической обстановки в реальном масштабе времени обусловлена необходимостью исследования в лабораторных условиях алгоритмов обработки гидроакустической информации, отладки бортового программного обеспечения и повышения эффективности контроля вычислительных систем гидролокационных комплексов в промышленности. Основным показателем системы имитационного моделирования гидроакустической обстановки, предназначенной для решения указанных задач, является время подготовки массива дискретных отсчетов, которое зависит от следующих основных факторов: количества имитируемых отсчетов в единицу времени, вычислительной сложности алгоритма, вычислительной мощности аппаратуры моделирования. В данной работе рассматривается способ повышения эффективности вычислительных комплексов цифрового имитационного моделирования гидроакустической обстановки за счет уменьшения минимально необходимого количества имитируемых данных в единицу времени. Данный способ позволяет существенно снизить требования к вычислительной мощности, себестоимость аппаратуры и трудоемкость программирования моделирующего комплекса при сохранении требований к адекватности модели.

В работах [307-307] авторами подробно рассмотрены различные методы описания

основных гидроакустических сигналов с точки зрения физической природы их возникновения и особенностей распространения в водной среде, освещены вопросы адекватности математического моделирования. Подобные математические модели обладают большой вычислительной сложностью, что является причиной существенного увеличения времени выполнения моделирующей программы на персональной вычислительной машине, либо приводит к увеличению сложности, а следовательно, и стоимости специализированного программно-аппаратного комплекса, реализующего данную модель в режиме реального времени. Целью данной статьи является разработка способа повышения эффективности вычислительных комплексов цифрового имитационного моделирования гидроакустической обстановки, позволяющего снизить требования к вычислительной мощности программно-аппаратного комплекса моделирования при сохранении адекватности применяемой математической модели. Научная новизна выполненной работы заключается в разработке, исследовании и оценке эффективности способа цифрового моделирования гидроакустической обстановки, базирующегося на формировании имитируемых сигналов на пониженной частоте сигнала, что существенно снижает объем имитируемых данных в единицу времени и позволяет выполнять контроль вычислительных систем гидролокационных комплексов в реальном масштабе времени на сравнительно несложных и недорогих вычислительных комплексах.

1 Структурная схема подсистемы акустики

Подсистема акустики гидролокационного комплекса в зависимости от конкретной реализации может состоять из блока гидрофонов, блока антенного, блока обработки и управления. Пример типовой структурной схемы подсистемы акустики приведен на рисунке 1.

Рисунок 1 – Структурная схема подсистемы акустики гидролокационного комплекса

Гидроакустический сигнал поступает на блок гидрофонов, в котором преобразуется в набор электрических сигналов U_A размерностью N_A , и поступает на вход блока антенного, в

котором происходит аналого-цифровое преобразование сигналов и их первичная обработка. В блоке антенном, как правило, выполняется обработка сигналов, направленная на смещение спектра сигнала в область низких частот с использованием квадратурной обработки, децимация и фильтрация сигналов. В результате преобразования на вход блока обработки информации и управления по командам запросов U_C поступает цифровой массив комплексных данных U_B размерностью N_B .

В связи с особенностями распространения звука в воде передача зондирующих сигналов оптимальна на несущих частотах ω_0 порядка 1 кГц – 500 кГц, а ширина спектра модулируемого колебания ω значительно меньше ω_0 [307], то в подсистеме акустики применяется анализ сигналов на основе комплексной огибающей [307]:

$$z_0(t) = A(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi(t)) + j \cdot A(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi(t)), \quad (1)$$

где $A(t)$ – амплитудная огибающая;

$\varphi(t)$ – закон изменения начальной фазы.

Если принять:

$$I(t) = A(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi(t)), \quad (2)$$

$$Q(t) = A(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi(t)), \quad (3)$$

то с учетом (2) и (3) можно переписать (1) в виде:

$$z_0(t) = I(t) + j \cdot Q(t), \quad (4)$$

где $I(t)$ – синфазная составляющая комплексной огибающей;

$Q(t)$ – квадратурная составляющая комплексной огибающей;

Полагая, что в блоке антенном реализована схема квадратурного демодулятора [307], представленная на рисунке 2, тогда на вход блока обработки и управления поступают синфазная и квадратурная составляющие комплексной огибающей.

Рисунок 2 – Структурная схема квадратурного демодулятора

Таким образом, в блоке обработки информации и управления ведется обработка гидроакустических сигналов, спектр которых смещен влево на величину несущей частоты ω_0 .

Такой подход к построению подсистемы акустики позволяет существенно сократить объем вычислений в блоке обработки информации и управления.

2 Способ снижения требований к вычислительным ресурсам аппаратуры цифрового имитационного моделирования и оценка эффективности его применения.

Если использовать особенность архитектуры подсистемы акустики, описанную в предыдущем разделе, и направить поток имитируемых цифровых данных непосредственно на вход блока обработки информации и управления, количество отсчетов для моделирования может быть сокращено, так как при этом происходит снижение частоты имитируемых сигналов. Увеличением вычислительной сложности алгоритма математического моделирования в данном случае можно пренебречь, так как сложность математических моделей гидроакустических сигналов значительно превышает сложность преобразования сигналов в комплексный вид. В некоторых случаях формирование синфазной и квадратурной составляющей имеет даже меньшую вычислительную сложность по сравнению с формированием исходного полосового сигнала. Тем не менее наряду со снижением частоты имитируемого сигнала происходит увеличение вдвое объема имитируемых данных, так как возникает необходимость вычислять синфазную и квадратурную составляющие для каждого отсчета времени. Для оценки эффективности применения предложенного способа уменьшения объема вычислений в единицу времени необходимо определить соотношение размерностей массивов U_A и U_B .

В соответствии с теоремой Котельникова [307] любой непрерывный сигнал с финитным спектром может быть представлен в виде отсчетов дискретного сигнала с частотой дискретизации f_0 :

$$f_d > 2 \cdot f_0. \quad (5)$$

где f_0 – верхняя предельная частота непрерывного сигнала.

Учитывая (5), определим размерность N_A массива имитируемого дискретного сигнала U_A , вычисленного за единицу модельного времени [308]:

$$N_A = 2 \cdot f_{A0} \cdot N_G, \quad (6)$$

где f_{A0} – верхняя предельная частота непрерывного сигнала A ,

N_G – количество гидрофонов в подсистеме.

Аналогично (6) определим размерность N_B массива имитируемого дискретного сигнала U_B , вычисленного за единицу модельного времени:

$$N_B = 4 \cdot f_{B0} \cdot N_G, \quad (7)$$

где f_{B0} – верхняя предельная частота непрерывного сигнала B .

Учитывая (6) и (7), определим отношение K_N размерностей массивов N_A и N_B :

$$K_N = \frac{f_{A0}}{2 \cdot f_{B0}}. \quad (8)$$

Таким образом, если структура подсистемы акустики гидролокационного комплекса позволяет направить цифровой поток имитированных гидроакустических сигналов на блок обработки информации и управления в виде синфазной и квадратурной составляющих, то минимально необходимое количество формируемых отсчетов цифрового сигнала в единицу времени сокращается в K_N раз.

Контроль чувствительных элементов блока гидрофонов и тракта квадратурного демодулятора осуществляется при этом отдельными тестовыми воздействиями и в данной работе не рассматривается.

3 Экспериментальная оценка эффективности применения предложенного способа имитационного моделирования

В качестве примера проведено моделирование простейшего отраженного от цели тонального сигнала на выходе блока гидрофонов и на выходе антенного блока. Для упрощения расчетов рассмотрен сигнал на выходе одного из гидрофонов блока, при этом фазовая задержка сигнала, определяемая относительным угловым положением цели, не учитывается.

За исходный излучаемый сигнал принята тональная посылка вида:

$$s(t) = A(t) \cdot \cos(w_0 \cdot t), \quad (9)$$

где $A(t)$ – амплитудная огибающая.

В идеальном случае импульс имеет прямоугольную форму, и амплитудная огибающая имеет вид:

$$A(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq \tau \\ 0, & t < 0; t > \tau \end{cases} \quad (10)$$

где τ – длительность импульса.

Параметры принимаемого сигнала отличаются от параметров излучаемого сигнала вследствие доплеровского смещения частоты и задержки распространения сигнала в водной среде [307, 307].

Таким образом, отраженный сигнал на выходе блока гидрофонов для тональной посылки имеет вид:

$$s_R(t) = A(t - t_{\text{зад.}}) \cdot \cos(w_v \cdot (t - t_{\text{зад.}})), \quad (11)$$

где $t_{\text{зад.}}$ – время задержки распространения сигнала в водной среде;

w_v – частота излученного сигнала, смещенная вследствие отражения от движущегося объекта в соответствии с эффектом Доплера.

Определим время задержки распространения сигнала и частоту [307, 307]:

$$t_{\text{зад.}} = \frac{2 \cdot D}{C_B}, \quad (12)$$

$$w_v = w_0 + \frac{2 \cdot v}{C_B}, \quad (13)$$

где D – расстояние до объекта;

C_B – скорость распространения звука в водной среде;

v – относительная радиальная составляющая скорости объекта.

Сигнал (11) на выходе блока антенного для тональной посылки имеет вид:

$$s_A(t) = A(t - t_{\text{зад.}}) \cdot e^{j \cdot (w_d - w_0) \cdot (t - t_{\text{зад.}})}. \quad (14)$$

С учетом (12) и (13) выражения (11) и (14) в дискретной форме имеют следующий вид:

$$s_R(n \cdot T_d) = A(n \cdot T_d - \frac{2 \cdot D}{C_B}) \cdot \cos(w_d \cdot (n \cdot T_d - \frac{2 \cdot D}{C_B})), \quad (15)$$

$$s_A(n \cdot T_d) = A(n \cdot T_d - \frac{2 \cdot D}{C_B}) \cdot e^{j \cdot (w_d - w_0) \cdot (n \cdot T_d - \frac{2 \cdot D}{C_B})}. \quad (16)$$

Если принять величину несущей частоты $w_0=30$ кГц, а полосу модулируемого сигнала $w=1,5$ кГц, то в соответствии с (8) получим $K_N=10$. Сокращение в 10 раз количества

имитируемых дискретных отсчетов гидроакустического сигнала имеет существенное значение при построении аппаратно-программных средств контроля вычислительных систем гидролокационных комплексов в реальном масштабе времени.

Заключение

Исследование предложенного способа повышения эффективности вычислительных комплексов имитационного моделирования гидроакустической обстановки в реальном масштабе времени показало что, если структура подсистемы акустики гидролокационного комплекса позволяет направить цифровой поток имитированных гидроакустических сигналов на блок обработки информации и управления в виде синфазной и квадратурной составляющих, то минимально необходимое количество формируемых отсчетов цифрового сигнала в единицу времени сокращается в количество раз равное половине отношения верхних предельных частот полосового и модулируемого сигналов. На практике применение указанного способа позволяет сократить объем вычислений в единицу времени в 10 – 50 раз, что позволяет существенно снизить себестоимость аппаратуры и трудоемкость программирования систем комплекса имитационного моделирования гидроакустической обстановки в реальном масштабе времени при сохранении требований к адекватности математической модели. При этом контроль чувствительных элементов блока гидрофонов и тракта квадратурного демодулятора должен осуществляться по отдельной методике.

Список литературы

1. Гладков В.В., Корнеев Ю.А. Применение имитационного моделирования для отладки алгоритмов обработки гидролокационной информации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2009. № 3 (29). С. 40-48.
2. Ольшевский В.В. Статистические методы в гидролокации. Л.: Судостроение, 1983. 280 с.
3. Etter P.C. Underwater Acoustic Modeling and Simulation. New York: Spon Press / Taylor & Francis, 2003. 424 p.
4. Waite A.D. Sonar for Practising Engineers. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2002. 298 p.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
6. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1990. 256 с.

7. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука: пер. с англ. М.: Мир, 1978. 421 с.

Method of improving efficiency of digital simulation systems for modeling a real time hydro-acoustic situation

02, February 2013

DOI: 10.7463/0213.0531784

Sotnikov A.A.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

alex_sotnikov@mail.ru

A method of improving computer systems for simulating a real time hydro-acoustic situation was developed. This method reduces the cost of hardware and laboriousness of software development of the modeling system while maintaining adequacy requirements for the mathematical model. The article gives a brief analysis of the acoustic systems structure. Relevance of the problem, scope, limitations and efficiency evaluation of the method were defined. Practical application of the method is possible in design of monitoring and diagnosing computer sonar systems, software development and tests of sonar guidance algorithms.

Publications with keywords: [digital simulation](#), [hydroacoustic signals](#), [quadrature signal processing](#), [diagnostic of hydrolocation complexes](#)

Publications with words: [digital simulation](#), [hydroacoustic signals](#), [quadrature signal processing](#), [diagnostic of hydrolocation complexes](#)

References

1. Gladkov V.V., Korneev Iu.A. *Primenenie imitatsionnogo modelirovaniia dlia otladki algoritmov obrabotki gidrolokatsionnoi informatsii* [Application of simulation modeling for debugging algorithms of processing of sonar information]. *Vestnik Riazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University.], 2009, no. 3 (29), pp. 40-48.
2. Ol'shevskii V.V. *Statisticheskie metody v gidrolokatsii* [Statistical methods in hydrolocation]. Leningrad, Sudostroenie, 1983. 280 p.
3. Etter P.C. *Underwater Acoustic Modeling and Simulation*. New York, Spon Press / Taylor & Francis, 2003. 424 p.
4. Waite A.D. *Sonar for Practising Engineers*. West Sussex, John Wiley & Sons Ltd, 2002. 298 p.
5. Sergienko A.B. *Tsifrovaia obrabotka signalov* [Digital signal processing]. St. Petersburg, Piter, 2002. 608 p.
6. Gol'denberg L.M., Matiushkin B.D., Poliak M.N. *Tsifrovaia obrabotka signalov* [Digital signal processing]. Moscow, Radio i sviaz', 1990. 256 p.

7. Shannon R.E. *Systems Simulation: The Art and Science*. Englewood Giffs, N.J., Prentice-Hall, 1975. (Russ.ed.: Shennon R. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem - iskusstvo i nauka*. Moscow, Mir, 1978. 421 p.).