

А.А. Свиначук, А.А. Нечай

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

Статья посвящена проблеме разработки метода увеличения быстродействия вычислительной системы радиолокационной станции, основанного на внедрении в информационные процессы выбора целей поражения квантовых вычислений для уменьшения времени принятия управленческого решения. Представлен пример организации работы квантовой системы.

Ключевые слова: суперкомпьютер, квантовая информатика, алгоритм Гровера, параллельные алгоритмы, теория принятия решений.

А.А. Svinarchuk, А.А. Nechay

USE OF QUANTUM COMPUTING WHEN CHOOSING MANAGEMENT DECISIONS

The article is devoted to the problem of a method of radar computing system development based on the introduction of targets choice in the information processes of quantum computing destruction in order to reduce the time of management decision. An example of the organization of the quantum system is presented.

Keywords: supercomputer, quantum computer science, Grover's algorithm, parallel algorithms, decision theory.

Особенностью ведения локальных войн на современном этапе является применение средств воздушного и воздушно-космического нападения. Эти средства позволяют достигать целей в вооружённой борьбе с наименьшими затратами и потерями.

Увеличение количества в составе воздушных и воздушно-космических сил ряда стран различных типов и числа беспилотных летательных аппаратов (БЛА) побуждает к поиску принципиально новых форм и способов их боевого применения, а также защиты от их воздействия.

Предполагается внедрение в системы управления БЛА так называемого роевого интеллекта, заменяющего одноканальные системы. Технология интеллектуального управления группой (роем) БЛА должна обеспечить совместные действия отдельных аппаратов за счет обмена информацией и оптимизации выполнения общей задачи на основе коллективного «разума», как это происходит в стаях (коллективах) естественных особей (пчел, птиц и рыб, волков и др.). Предполагается, что с управлением роем БЛА сможет справляться всего один оператор [1].

Внедрение роевого интеллекта в системы управления БЛА может в конечном итоге обесценить дорогостоящие системы противовоздушной обороны. Эти системы просто не будут успевать в реальном масштабе времени отслеживать маневры множества БЛА, отсекаать помехи и противодействовать рою высокоорганизованных БЛА. Появление сверхзвуковых и суборбитальных БЛА делает задачу по их нейтрализации фактически невозможной. Все вышеперечисленное требует от вычислительной системы РЛС увеличения скорости вычислений, уменьшение времени принятия решения при идентификации объекта и принятия решения на его поражение.

© Свиначук А.А., Нечай А.А., 2018.

Основная задача теории оптимальных решений состоит в представлении количественных данных и рекомендаций для принятия оптимальных решений. Существует несколько моделей принятия управленческих решений:

1. Модель долгосрочного стратегического планирования, которая используется в задачах размещения производства, развитии нефтяной и газовой промышленности.

2. Модель среднесрочного планирования для решения транспортных задач и задач маршрутизации.

3. Модель оперативного управления, которая может применяться в задачах теории расписаний и матричных игр.

Предметом исследований в теории игр являются модели и методы принятия решений в ситуациях, где участвуют несколько сторон. Цели игроков различны и часто противоположны. Здесь стратегией называется набор правил, определяющих поведение стороны, а оптимальной стратегией будет стратегия, при которой достигается максимальный ожидаемый средний выигрыш при многократном повторении ситуации.

По сути, матричные игры – это игры, где две стороны играют в игру с нулевой суммой, имея конечное число «чистых» стратегий: $\{1, \dots, m\}$ и $\{1, \dots, n\}$ и платежной матрицей (или матрицей выигрышей) $\forall (ij)_{m \times n}$, определяющей выигрыш первого игрока при выборе стратегий i и j соответственно. В качестве примера одной из таких матричных игр рассмотрим задачу прорыва обороны, в которой один игрок располагает системой противовоздушной обороны (ПВО), а задача второго игрока состоит в прорыве этой обороны с помощью самолетов или беспилотных летательных аппаратов. Тогда элементы матрицы a_{ij} задают вероятность поражения самолета j системой ПВО i . Платежная матрица задается табл. 1.

Таблица 1

Платежная матрица

i/j	1	2	3	...	n
1	0.5	0.6	0.8		
2	0.9	0.7	0.8		
3	0.7	0.5	0.6		
...					
m					

Для обоих игроков целесообразным является использование чистых стратегий. Отклонение любого из игроков от указанных стратегий может только уменьшить его выигрыш. В этой платежной матрице имеется седловая точка. Седловая точка в матричной игре определяет некоторое положение равновесия, когда ни одному из игроков невыгодно отклоняться от оптимальной стратегии, если противник придерживается своей оптимальной стратегии. В случае существования седловой точки верхняя и нижняя цены игры совпадают и называются ценой игры. Решением игры в чистых стратегиях называется нахождение оптимальных стратегий для каждого из игроков и вычисление цены игры. Соответственно, преимущество в данной игре прорыва обороны получит та сторона, которая сможет быстрее выбрать стратегию противодействия противоборствующей стороне.

Для перебора всех возможных альтернативных стратегий и принятия правильного управленческого решения за ограниченное время требуются большие вычислительные мощности. Так, например, вычислительная способность компьютерных систем современных РЛС типа «Воронеж» составляет порядка 100 млрд операций в секунду. Дальнейшее увеличение быстродействия вычислительной системы РЛС возможно только при наращивании количества процессоров, оперативной памяти, распараллеливанием алгоритмов и вычислений, либо внедрением новых технологий, например на основе квантовых вычислений.

Квантовое вычисление – это контролируемая классическим управляющим компьютером последовательность унитарных операций простого вида (над одним, двумя или тремя кубитами). В конце вычисления состояние квантового процессора измеряется, что и даёт искомый результат вычисления. Содержание понятия «*квантовый параллелизм*» в вычислении может быть раскрыто так: «Данные в процессе вычислений представляют собой квантовую информацию, которая по окончании процесса преобразуется в классическую путём измерения конечного состояния квантового регистра. Выигрыш в квантовых алгоритмах достигается за счёт того, что при применении одной квантовой операции большое число коэффициентов суперпозиции квантовых состояний, которые в виртуальной форме содержат классическую информацию, преобразуется одновременно» [2]. Таким образом, представляется возможным использовать квантовый параллелизм в задачах селектирования целей и выбора оптимальной стратегии или альтернативы при принятии управленческого решения для поражения множественных целей.

В настоящий момент квантовые вычислительные системы представляют собой технологическую систему, встроенную в классическое окружение, состоящее из управляющего классического компьютера и генератора импульсов, управляющих эволюцией кубитов, а также средствами измерений состояния кубитов. **Квантовый компьютер** – это вычислительное устройство, которое использует явление квантовой суперпозиции и квантовой запутанности для передачи и обработки данных. Типичная схема квантового компьютера представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема квантового компьютера

Особенность вычислений на квантовом компьютере состоит в том, что для вычислений используются не обычные (классические) алгоритмы, а процессы квантовой природы, так называемые квантовые алгоритмы, использующие квантомеханические эффекты. Квантовый алгоритм представляет собой классический алгоритм, который задает последовательность унитарных операций (гейтов, или вентилях) с указанием, над какими именно кубитами их надо совершать. *Квантовый алгоритм* задается либо в виде словесного описания таких команд, либо с помощью их графической записи в виде системы вентилях (quantum gate array). Результат работы квантового алгоритма носит вероятностный характер. За счёт небольшого увеличения количества операций в алгоритме можно сколь угодно приблизить вероятность получения правильного результата к единице. К широко известным алгоритмам квантовых вычислений можно отнести следующие алгоритмы:

1. Алгоритм Шора (позволяет раскладывать числа на простые множители за полиномиальное время).
2. Алгоритм Гровера (позволяет решать любые переборные задачи за время, примерно равное квадратному корню из времени, затрачиваемого на классических компьютерах).

3. Алгоритм Дойча – Йожи (позволяет «за одно вычисление» определить, является ли функция двоичной переменной $f(n)$ постоянной ($f_1(n) = 0, f_2(n) = 1$ независимо от n) или «сбалансированной» ($f_3(0) = 0, f_3(1) = 1; f_4(0) = 1, f_4(1) = 0$).

4. Алгоритм Саймона (решает проблему «черного ящика» экспоненциально быстрее, чем любой классический алгоритм).

Для решения задач перебора альтернатив при принятии управленческого решения хорошо подойдет алгоритм Гровера. Данный алгоритм очень часто используется в задачах перебора при выборе наилучшей альтернативы (шахматы) или в задачах поиска совпадающих строк в базе данных.

Подробное описание формализма квантовых вычислений можно найти, например, в книгах [3; 4].

Рассмотрим подробнее квантовый алгоритм Гровера.

Известно, что состояние одного кубита определяется нормированным на единицу вектором пространства двумерного комплексного пространства \mathbb{C}^2 :

$$a|0\rangle + b|1\rangle, \quad |a|^2 + |b|^2 = 1,$$

где через векторы $|0\rangle$ и $|1\rangle$ обозначаются базисные векторы рассматриваемого пространства.

Состояние n -кубитовой квантовой системы есть тензор произведений однокубитовых пространств:

$$(\mathbb{C}^2)^{\otimes n} = \prod_1^n \mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2 \otimes \dots \otimes \mathbb{C}^2,$$

соответствующие векторы имеют вид:

$$\sum_{i_1, i_2, \dots, i_n=0}^1 C_{i_1, i_2, \dots, i_n} |i_1 i_2 \dots i_n\rangle.$$

В каждый момент времени состояние меняется под действием некоторого унитарного преобразования. С формальной точки зрения такие преобразования имеют вид $U \otimes I$, где U – матрица, действующая на кубиты или кубит, I – единичная матрица, действующая на остальные кубиты. Квантовый алгоритм представляет собой последовательное применение таких преобразований. Входные данные подаются либо в виде начального состояния (вектора) системы, либо в виде выбора применяемых преобразований [5].

Последовательность квантовых операций удобно представлять графически, в виде квантовых схем, пример которой приведен на рис. 2.

Применительно к алгоритму Гровера считаем, что пусть задана булева функция $f(x)$, $x \in \{0, 1\}^n$. Необходимо найти такое значение x , что $f(x) = 1$. Важно отметить, что для работы алгоритма Гровера необходим так называемый квантовый оракул, переводящий базисное квантовое состояние $|x\rangle$ в $(-1)^{f(x)}|x\rangle$. Тогда квантовую схему, реализующую алгоритм Гровера, можно изобразить в виде схемы – рис. 3 [6].

В силу ограниченности статьи мы не будем объяснять действие его работы – соответствующую информацию можно найти в [3; 4]. Важно отметить, что алгоритм

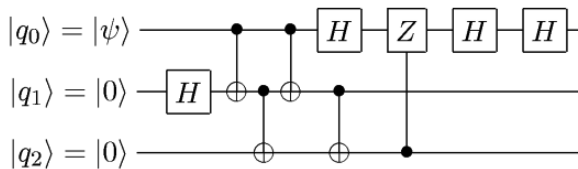


Рис. 2. Пример квантовой схемы.
Каждая линия соответствует одному кубиту

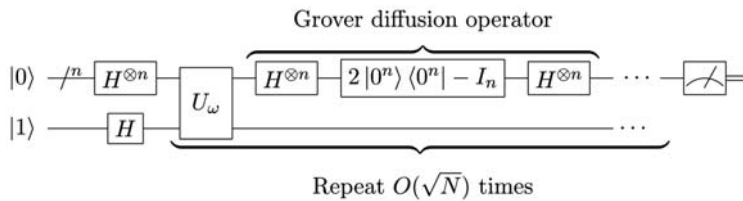


Рис. 3. Квантовая схема алгоритма Гровера

Гровера позволит решить задачу перебора возможных альтернатив или вариантов решения за время $O\left(2^{\frac{n}{2}}\right)$, в то время как классический алгоритм в среднем решает задачу за 2^{n-1} обращений к функции f (оракулу).

Для использования квантового ресурса в вычислительной системе радиолокационной станции необходимо будет провести следующие манипуляции.

1. Предварительные манипуляции с классическими системами.
2. Приготовление некоторого чистого состояния (обычно это одно из состояний вычислительного базиса).
3. Унитарные преобразования.
4. Измерение в вычислительном базисе.
5. Обработка результатов измерения классическими средствами.
6. Циклическое повторение предыдущих шагов по необходимости.

Предварительные оценки показали, что внедрение квантового компьютера в вычислительную систему радиолокационных станций позволит увеличить ее быстродействие в десятки тысяч раз.

Заключение

В статье предложено использовать элементы квантовых вычислений при разработке новых систем для радиолокационных станций, так как использование квантовых компьютеров позволит увеличить быстродействие вычислительных систем в десятки тысяч раз. Предложено использовать квантовый алгоритм Гровера при создании метода выбора наиболее выгодной альтернативы для образования новых вычислительных систем в радиолокационных станциях.

В то же время имеются до сих пор не решенные проблемы, связанные с квантовыми вычислениями, – это необходимость обеспечения высокой точности измерений и проблема внешних воздействий на квантовую систему, которые могут ее разрушить или внести в неё искажения.

Литература

1. Буренок В. И грянет дрон // Военно-промышленный курьер (ВПК). – 2016. – № 42 (657). – Ноябрь.
2. Холесто А. Квантовая информатика: прошлое, настоящее, будущее // В мире науки. – 2008. – № 7. – Июль.
3. Ожигов Ю.И. Квантовые вычисления. – М. : Макс Пресс, 2003. –152 с.
4. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация / пер с англ. – М. : МИР, 2006.
5. Параллельный алгоритм моделирования идеального квантового алгоритма Гровера / Д.Ю. Андреев, О.В. Корж, С.В. Коробков, А.Ю. Чернявский // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2013) : труды Международной научной конференции (г. Челябинск, 1–5 апреля 2013 г.). – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 38–48.

6. Grover, L.K. A fast quantum mechanical algorithm for database search // Proc. of the 28th Annual ACM Symposium on the Theory of Computing. – Philadelphia, 1996. – Pp. 212–219.

7. Свиначчук А.А., Калинин С.В., Нечай А.А. Использование графического процессора для ускорения распределенных вычислений при прогнозе экстремальных значений температуры воздуха // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». – 2017. – № 4. – С. 33–38.

8. Новиков А.Н., Нечай А.А., Малахов А.В. О подходе к обоснованию рациональной номенклатуры эталонной базы измерительных комплексов на основе нечетких моделей // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». – 2017. – № 1. – С. 72–79.

9. Полончик О.Л., Артюшкин А.Б., Нечай А.А., Полончик Е.О. Радиолокационные системы дистанционного зондирования земли на базе спутников со стабилизацией вращением // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». – 2017. – № 1. – С. 35–41.

10. Лоскутов А.И., Дуников А.С., Артюшкин А.Б., Нечай А.А. Математическая модель системы символьной синхронизации наземной приемно-регистрирующей станции телеметрической информации в условиях флуктуаций амплитуды сигнала // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». – 2017. – № 1. – С. 11–19.

References

1. Burenok, V. I gryanet dron // Voenno-promyshlennyy kur'er. – 2016. – № 42 (657). – Noyabr'.

2. Kholevo, A. Kvantovaya informatika: proshloe, nastoyashchee, budushchee // V mire nauki. – 2008. – № 7. – Iyul'.

3. Ozhigov, Yu.I. Kvantovye vychisleniya. – M. : Maks Press, 2003. –152 s.

4. Nil'sen, M., Chang, I. Kvantovye vychisleniya i kvantovaya informatsiya / per s angl. – M. : MIR, 2006.

5. Parallel'nyy algoritm modelirovaniya ideal'nogo kvantovogo algoritma Grovera / D.Yu. Andreev, O.V. Korzh, S.V. Korobkov, A.Yu. Chernyavskiy // Parallel'nye vychislitel'nye tekhnologii (PaVT'2013) : trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (g. Chelyabinsk, 1–5 aprelya 2013 g.). – Chelyabinsk : Izdatel'skiy tsentr YuUrGU, 2013. – S. 38–48.

6. Grover, L.K. A fast quantum mechanical algorithm for database search // Proc. of the 28th Annual ACM Symposium on the Theory of Computing. – Philadelphia, 1996. – Pp. 212–219.

7. Svinarchuk, A.A., Kalinichenko, S.V., Nechay, A.A. Ispol'zovanie graficheskogo protsessora dlya uskoreniya raspredelennykh vychisleniy pri prognoze ekstremal'nykh znacheniy temperatury vozdukh / Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". – 2017. – № 4. – S. 33–38.

8. Novikov, A.N., Nechay, A.A., Malakhov, A.V. O podkhode k obosnovaniyu ratsional'noy nomenklatury etalonnoy bazy izmeritel'nykh kompleksov na osnove nechetkikh modeley // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". – 2017. – № 1. – S. 72–79.

9. Polonchik, O.L., Artyushkin, A.B., Nechay, A.A., Polonchik, E.O. Radiolokatsionnye sistemy distantsionnogo zondirovaniya zemli na baze sputnikov so stabilizatsiey vrashcheniem // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". – 2017. – № 1. – S. 35–41.

10. Loskutov, A.I., Dunikov, A.S., Artyushkin, A.B., Nechay, A.A. Matematicheskaya model' sistemy simvol'noy sinkhronizatsii nazemnoy priemno-registriruyushchey stantsii telemetricheskoy informatsii v usloviyakh fluktuatsiy amplitudy signala // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". – 2017. – № 1. – S. 11–19.