

Компьютинг: круг вопросов и характеристики

Вольфенгаген В.Э.
E-mail: vew@jmsuice.msk.ru

Аннотация. Компьютинг и его развитие ставит целый ряд вопросов, на большую часть из которых ответы либо неполны, либо неизвестны. Некоторые из них: что такое `вычисление'? что такое `информация'? что можно узнать, пользуясь компьютером? чего нельзя узнать, пользуясь компьютером? -- имеют фундаментальное значение. Попытки охарактеризовать компьютер как инженерию, науку или математику оказались бесплодными, поскольку пришлось столкнуться с новой парадигмой.

Оглавление

Введение	1
Концептуальная фаза технологии	2
Семантический компьютер и семантическая сеть	3
Область компьютеринга	4
Подпарадигмы, содержащиеся в компьютеринге	4
Парадигма компьютеринга	5
Характеристики компьютеринга	6
Пересмотр основ компьютеринга	7
Выражения в компьютеринге	8
Заключение	9
Литература	9

Введение.

В последней четверти 20 века в экономике США произошел переход от индустриальной к *информационной* эпохе. Это характеризовалось заметными сдвигами при выборе профессии, массовым выбором занятости в виде работника знаний вместо работника физического труда. За всем этим стояло развитие компьютерных наук, которое привело к изменениям в интеллектуальной, социальной и культурной сфере. Исследователи и разработчики в компьютеринге широко применяли и распространяли новые технологии, получая высокую оплату за свой труд. Произошел рост факультетов компьютерных наук, сама профессия стала пользоваться у студентов, численность которых заметно возросла, значительной популярностью. Вследствие этого для проверки знаний студентов пришлось даже разработать систему стандартизованных тестов. В этот период, благоприятный для развития компьютерных наук, наблюдался рост как национальной, так и мировой экономики.

Можно считать, что крах дот-комов явился признаком окончания информационной эры. Компьютерные науки стали рассматриваться как нестабильная карьера, а к профессии в целом интерес среди молодежи заметно спал. На факультеты стали поступать различные нарекания от промышленности, касающиеся неподготовленности выпускников к сложившимся производственным требованиям. Таким образом, по собственным экономическим мотивам студенты стали больше интересоваться иными сферами занятости и приложения своих сил. Бизнес-образование приобрело в их глазах значительную привлекательность, что привело в значительному численному росту выпускников по бизнес-направлению.

Такая потеря интереса к компьютерным наукам, вероятнее всего, явилась частью естественного колебания популярности профессий. Вместе с тем было бы неправильно просто наблюдать подобную ситуацию, ожидая возврата того, что было. Хотя бы потому, что в настоящее время наметился переход от чисто информационной к *концептуальной* фазе технологий. Прежде успешный подход к установлению абстракций отдельно от реальных задач перестал безотказно срабатывать, что образует определенный дисбаланс. Для его преодоления в этот период приходится менять направление приложения сил, переходя к концептуальному взгляду на вещи. Как оказывается, для его последовательного и успешного проведения в жизнь требуется прочная образовательная база в области компьютерных наук и компьютеринга.

Концептуальная фаза технологии.

Концептуальная фаза технологии базируется на предпосылке, что когнитивная и креативная составляющие разработки будут представлены в сопоставимых пропорциях. Наблюдается успех подобных подходов, в частности, в индустрии игр. Эта отрасль нуждается в выпускниках, которые имеют хорошие навыки в программировании и разработке систем и сочетают их с опытом работы в больших междисциплинарных командах. Типичный же выпускник имеет, как правило, небольшой опыт работы над одним-двумя проектами, причем в малочисленных коллективах. Для учета подобных запросов факультетам приходится переоснащаться. В любом случае положение дел таково, что приходится вносить существенные коррективы в академические программы.

Прежде всего требуется сильная базовая подготовка в компьютерных науках, поскольку снижается потребность в работниках с расплывчатыми представлениями о задачах, решаемых в этой области. Тем самым вновь востребован опыт преподавания фундаментальных основ информационных технологий. Переход к концептуальной фазе технологий требует специального образа мыслей, когда выдвигается «большая идея» или «большая концепция» и нужно решить, как ее осуществить и на основе каких технологий. Решающим фактором успеха оказывается сильная базовая подготовка в компьютерных науках и компьютеринге.

Среди инженерных навыков на первом месте находится сильная программистская подготовка. Прежний тезис о том, что достаточно изучить один язык, а к следующему уже легко можно будет перейти, далеко не всегда срабатывает в условиях современной практики. Другим требованием является высокая квалификация в разработке систем. Затем идет навык работы в большой междисциплинарной группе.

В идеале программист должен производить программный код в соответствии с замыслом дизайнера, принимать правильные оформительские решения для визуализаций и уметь вписаться в общую работу группы. Нетрудно видеть, что совокупность подобных качеств не развить в вузе, что порождает известную неудовлетворенность компьютерными науками в целом. Для выработки профессиональных навыков на подобном уровне явно недостаточно времени, проведенного в высшем учебном заведении, сколь бы комплексной и совершенной ни была образовательная программа.

Семантический компьютеринг и семантическая сеть.

Проводится различие между общим подходом компьютеринга, основанным на *семантических технологиях* (машинное обучение, нейронные сети, онтологии, логический вывод и т.п.) и концепцией *семантической сети* в смысле Бернерса-Ли, под которой понимается специальная экосистема технологий, включающая RDF и OWL. Семантическая сеть привлекла к себе внимание, стимулируя понимание важности семантики. В широком смысле технологии семантических сетей рассматриваются как один из инструментов, применяемых для осуществления семантически ориентированных решений.

В настоящее время Web стала самым крупным мировым репозиторием распределенной информации. Формы ее представления довольно многообразны и варьируются от Web-страниц до блогов и видео. Информационные сервисы развиваются в направлении агрегирования, индексирования и поисковых возможностей в среде цифровых данных, однако полное значение данных может быть проинтерпретировано только человеком. В общем случае машины не обладают способностями понимания или умозаключений для основной массы хранимых в сети данных. Они не в состоянии интерпретировать или выводить *новую* информацию из имеющихся данных и это в последние десятилетия является предметом активного исследования в области *искусственного интеллекта*. В этой связи на *семантические технологии* возлагается особая надежда, что они помогут решению этой проблемы, причем не в столько отдаленном будущем.

Экосистемы в Web, основанные на простых форматах и протоколах, служат примером эффективного управления, распределения, организации доступа и представления больших объемов данных. Эта область является сферой активного исследования и экспериментирования, все более развиваясь по своему объему и сложности. Их развитие привело к выработке нового и еще небесспорного представления о «каркасе данных» (англ.: data mesh), которое охватывает различные техники и технологии представления информации и знания, сложившиеся в последние годы. В своей простейшей форме каркас данных является ориентированным графом, *вершины* которого указывают на данные и информацию, представленные в известных форматах, а *дуги* -- на связи и предикаты, имеющиеся между связанными данными. Считается, что с помощью таких структур можно учесть пользователей, которые являются не только *потребителями* (англ.: data consumers), но и *производителями* (англ.: data producers) информации в сети. Новейшие предметно-ориентированные системы представления знаний, например, myGrid (см. <http://www.mygrid.org.uk/>), успешно применяют технологии семантического компьютеринга, в частности, для исследований в биоинформатике. *Каркас данных* может использоваться для организации различных понятий и подходов, применяемых в ходе развития семантически нетривиальной экосистемы, применяющей как инструментальные средства, так и сервисы для выполнения определенного объема исследований. При этом преследуются чисто практические цели, без какой-либо претензии на универсализацию и унификацию каркаса данных как средства представления всего накопленного объема данных. Но область компьютеринга, общие цели его развития выдвигают значительно более сложные, комплексные и глубокие задачи, от успеха или

неуспеха решения которых зависит существование целых отраслей науки, техники и промышленности.

Область компьютеринга.

Компьютеринг и его развитие ставит целый ряд вопросов, на большую часть из которых ответы либо неполны, либо неизвестны. Некоторые из них: что такое `вычисление'? что такое `информация'? что можно узнать, пользуясь компьютерингом? чего нельзя узнать, пользуясь компьютерингом? -- имеют фундаментальное значение. Эти вопросы сопровождали компьютеринг, начиная с 1940-х гг. Казалось, на них имеются ответы, но и сегодня эти же самые вопросы задаются всеми и повсюду, во всех областях науки, инженерии, бизнеса и даже политики. Долгое время бытовала традиция, в соответствии с которой компьютеринг рассматривался как наука о явлениях, сопровождающих компьютеры, и этот взгляд не вызывал сомнения. Компьютеринг всегда был и остается наукой об информационных процессах. Приблизительно с 1995 г. специалисты из разных областей науки, один за другим, стали заявлять, что ими в их же области обнаружены естественные информационные процессы. Эти открытия ввели в обиход иную традицию, в соответствии с которой компьютеринг стал считаться наукой о естественном и об искусственном одновременно.

Подпарадигмы, содержащиеся в компьютеринге.

Компьютеринг был и остается в центре многих дискуссий в университетах, при выработке образовательных программ для вузов и школ, при оценке квалификации специалистов, в научных исследованиях, инновациях, общественной жизни и при обсуждении перспектив образования. В основном, дебатировался вопрос, относить ли компьютеринг к области инженерии или к области науки [1-5]. Все это оставляло людей в состоянии неопределенности, что негативно отразилось на политике использования компьютеринга.

Соглашение достигалось в понимании того, что компьютеринг является совместным результатом инженерии и науки, но ни наука, ни инженерия по отдельности не дают его характеристики. Возникает вопрос, каким образом можно дать характеристику компьютеринга. Как оказалось, приходится принимать самостоятельную парадигму компьютеринга. Терминологически «парадигма» означает систему посылок и соответствующих ей практик, с позиций которой рассматривается не только мир в целом, но также и подходы к решению задач. Как обычно, целостная парадигма может состояться из отдельных подпарадигм.

У дискуссии, является ли компьютеринг инженерией или наукой, длинная история, совпадающая по своей продолжительности со временем существования самого компьютеринга. В суждениях не наблюдается единства. Инженерная точка зрения преобладала в течение четырех десятилетий, когда становилась и бурно развивалась индустрия построения компьютеров, сетей, программного обеспечения. Начиная с середины 1980-х гг., по мере развития вычислений, стала заявлять о себе точка зрения науки, в соответствии с которой компьютеринг является одной из ее отраслей или подпарадигм, что стимулировало его дальнейшее экспериментальное изучение.

Наблюдалось три крупных волны попыток, которые были направлены на выработку унифицированной системы взглядов. В соответствии с первой из них компьютеринг отделялся и от инженерии, и от науки в силу специфики изучения информационных процессов. Сам

компьютинг объявлялся даже *наукой об искусственном*. В конце 1960-х гг. возникла вторая волна, ставящая в основу программирование и предлагавшая рассматривать программирование как искусство построения информационных процессов. Но в настоящее время в общественном сознании это понимание значительно сузилось, программист рассматривается попросту как кодировщик. Третья волна стала распространяться с середины 1970-х гг. в рамках программы COSERS (Computer Science and Engineering Research Study), инициированной NSF в США. Компьютинг стал трактоваться как автоматизация информационных процессов в инженерии, науке и бизнесе. Но это направление не смогло соединить инженерную и научную точки зрения.

С середины 1980-х гг. отсутствие единого понимания компьютеринга стало заметным, а сам компьютеринг было предложено считать самостоятельной дисциплиной [4]. Это вытекало из признания того, что компьютеринг является уникальным сочетанием парадигм математики, науки и инженерии. Именно сочетанием и соединением, поскольку ни одна из этих парадигм в отдельности не объясняла и не охватывала все поле компьютеринга. Программирование стало рассматриваться как практика, на которую проецируются все три парадигмы, но исключительно к этой практике компьютеринг признавался несводимым. Такой подход предполагал мирное сосуществование парадигм математики, науки и инженерии, что обеспечивало формирование ядра того знания, которое могло бы обслуживать все три парадигмы, которые рассматривались *на равных правах*. К 1997 г. лозунг ИТ — информационные технологии, -- стал казаться даже полностью примирившим все три парадигмы и был принят как синоним компьютеринга. Но в настоящее время ИТ относят к технологической инфраструктуре вместе с финансовыми и коммерческими приложениями, что теперь не рассматривается как базовые технические аспекты компьютеринга.

Парадигма компьютеринга.

Понимание компьютеринга как простого смешения всех трех подпарадигм не дает его полной картины. Современное понимание предполагает смещение центра внимания с собственно вычислительных машин на информационные процессы, куда входят и природные информационные процессы, например, характеризующие кодирование ДНК. В соответствии с основными принципами компьютеринга выделяются его *семь измерений*: вычисление, коммуникация, координация, перекомбинирование, автоматизация, оценка и проектирование. Возникающие взаимосвязи интерпретируют компьютеринг как динамическое поле многих «реализационных» и «влияющих» взаимодействий. К настоящему времени компьютеринг начинает пониматься как *четвертая* самостоятельная большая область науки, помимо физики, жизни и общества.

Все эти новые рамки свидетельствуют о существенном росте области компьютеринга, наблюдавшемся в последнее десятилетие. Теперь компьютеринг больше не рассматривается как собирательное название для алгоритмов, структур данных, численных методов, языков программирования, операционных систем, сетей, баз данных, графики, искусственного интеллекта и программной инженерии, что наблюдалось вплоть до 1989 г. Теперь сюда относят также Интернет, Web-науку, мобильный компьютеринг, охрану киберпространства, проектирование пользовательских интерфейсов и визуализацию информации. Коммерческие приложения установили новые исследовательские горизонты и вызвали к жизни открытые проблемы в связи с социальными сетями, бесконечно развивающимися вычислениями, музыкой, видео, цифровой фотографией, видением, он-лайн играми многих

игроков, наращиваемым пользовательским контентом и многим другим.

Возрастает роль научного (экспериментального) метода изучения компьютеринга. Эвристические алгоритмы, распределенные данные, смешанные данные, судебная информация, распределенные сети, социальные сети, автоматизированные робототехнические системы и некоторые другие часто оказываются слишком сложными, чтобы можно было построить их аналитику, но могут изучаться экспериментально. Например, *обнаружение* оказалось столь же важным, как и *конструирование* или проектирование. Обнаружение и проектирование оказались взаимосвязанными, в частности, поведение такой спроектированной системы, как Web исследовалось, исходя из наблюдений. Кроме того, были построены симуляторы, которые имитировали обнаруженные информационные процессы. Вместе с тем, компьютеринг породил поисковые средства, которые способствовали научным открытиям в различных областях науки.

Сегодня получили признание природные информационные процессы, включая восприятие и узнавание живыми существами, мыслительные процессы, общественное взаимодействие, экономику, расшифровку ДНК, иммунные системы, а также квантовые системы. Представления из компьютеринга с успехом применяются при изучении этих природных процессов.

Сущность парадигмы компьютеринга можно кратко сформулировать как информационные процессы вне зависимости от того, являются ли они природными или искусственно сконструированными процессами, направленными на преобразование информации. В компьютеринге информационные процессы понимаются как выражения, которые осуществляют работу. Выражением является описание шагов процесса в виде, возможно, большого набора инструкций. Выражениями могут артефакты, например, программы, написанные программистами, а также описания природных структур, например, структуры ДНК. Выражения не столько декларативны, сколько императивны поскольку с их помощью порождаются действия, осуществляемые машинами.

Поскольку выражения не обязательно напрямую соответствуют законам природы, то развиты различные методы, которые позволяют убедиться, что запланированное поведение действительно осуществляется и не приводит к возникновению нежелательных *побочных эффектов*. Некоторые методы получены в формальной математике, обеспечивая подтверждение, что выражаемые действия соответствуют спецификациям. Но большая часть из них полагаются на результаты экспериментов, подтверждающих гипотетическое поведение системы и устанавливающих границы применимости надежных операций.

Характеристики компьютеринга.

Для более точного указания этих соответствий и взаимных влияний потребуются более детальная характеристика парадигмы компьютеринга, составленная относительно известных парадигма математики, науки и инженерии.

Инициация.

В математике. Характеризация объектов исследования (определение).

В науке. Наблюдение повторяемости или закономерности явления (гипотеза).

В инженерии. Выработка утверждений о действиях и реакциях желаемой системы (требования).

В компьютеринге. Определение, можно ли разрабатываемую (или наблюдаемую) систему представить информационными процессами, которые либо конечны (завершаются), либо бесконечны (продолжаются интерактивно).

Концептуализация.

В математике. Формирование гипотезы о возможных связях между объектами (теорема).

В науке. Построение модели, которая объясняет наблюдаемое и обеспечивает предсказание (модель).

В инженерии. Выработка формальных утверждений о функциях и взаимодействиях системы (спецификации).

В компьютеринге. Построение (или обнаружение) вычислительной модели (например, алгоритма или набора вычислительных агентов), которая порождает требуемое поведение системы.

Реализация.

В математике. Вывод истинных связей (доказательство).

В науке. Осуществление экспериментов и сбора данных (подтверждение, валидация).

В инженерии. Проектирование и реализация прототипов (проектирование).

В компьютеринге. Реализация спроектированных процессов в среде, которая может исполнять соответствующие инструкции. Разработка имитаторов или моделей установленных процессов. Наблюдение поведения информационных процессов.

Оценка.

В математике. Интерпретация результатов.

В науке. Интерпретация результатов.

В инженерии. Тестирование прототипов.

В компьютеринге. Тестирование реализации на логическую корректность, на непротиворечивость выдвинутым гипотезам, на ограничения производительности и на соответствие исходным целям. При необходимости развитие реализации.

Действие.

В математике. Действие на результаты (применение).

В науке. Действие на результаты (предсказание).

В инженерии. Действие на результаты (построение).

В компьютеринге. Перенести результаты на действия в реальном мире. Слежение за продолжительной оценкой.

Как видно из выполненного сопоставления, компьютеринг имеет свои собственные отличительные признаки по всем общеметодологическим параметрам, которые нельзя просто игнорировать как несущественные.

Пересмотр основ компьютеринга.

В сложившемся компьютеринге продвинулись в понимании множеств и научились эксплуатировать модели вычислений, основанные на представлении о переменной, для которой известно, по какой области она будет пробегать -- *типовые* модели вычислений, или модели вычислений с типами. Другими словами, идея *типа* получила широкое распространение и повсеместное признание, а все имеющиеся системы программирования имеют в большей или меньшей степени проработанные системы управления типами переменных/объектов.

Менее проработанными оказались модели, основанные на классах, поскольку они ведут к построению областей, элементами которых являются другие области и т.д., а для таких структур резко возрастает объем вычислений, требуемый для проверки истинности или

ложности утверждений.

Совсем не проработанными и не осмысленными на практике остались модели вычислений, в которых не предполагалось указания типа переменных -- *бестиповые* модели вычислений. Среди них доминирующее положение занимает *λ -исчисление* и *комбинаторная логика*. Хотя λ -исчисление и получает признание в практике технологий программирования, но не так быстро, как оно того заслуживает, комбинаторная логика применяется явно недостаточно. Комбинаторы -- основные первоэлементы комбинаторной логики, -- вводились в надежде избавиться от арифметического стиля работы с числовыми данными, характерного для абсолютного большинства прежних и существующих систем программирования, и вместо этого перейти к иному стилю рассуждений в терминах объектов и применений их друг к другу. При использовании первого стиля выполняется *вычисление* -- от слова 'число', -- а при использовании второго -- *компьютинг* в собственном смысле этого термина. Кроме того, комбинаторы имеют дело со *свободными* переменными, которые понимаются как индетерминанты и вовсе не имеют дела со *связанными* переменными. По сути, компьютеринг с комбинаторами выполняется в терминах констант. Еще лучше сказать: 'константных объектов', а это константы не в абсолютном понимании, а в *относительном*, когда объекты проявляют *свойство константности* относительно *среды*, в которой осуществляется компьютеринг. Остается сформулировать подходящее определение константы -- дать характеристику свойству константности, -- и также определиться с моделью среды. Это как раз и оказывается непростым делом, поскольку влияет на все элементы вычислительной архитектуры без исключения.

Выражения в компьютеринге.

Выражения в компьютеринге существенно отличаются от выражений в инженерии, науке и математике. В них предполагается, что соответствующие выразительные средства имеют статус «стороннего наблюдателя» относительно объектов или системы, которая в них разрабатывается или изучается. Эти средства остаются во многом чисто репрезентативными. Например, схемы, модели в науке и математические модели не являются исполняемыми сами по себе. Для обеспечения исполняемости их надо скомбинировать с вычислительными системами, которые они призваны автоматизировать, симулировать или моделировать. Это, например, достигается программным обеспечением, ассоциированным соответствующему математическому обеспечению. Напротив, вычислительные конструкции и выражения не рассматриваются как сторонние относительно представляемой ими системы. Возможности самоссылочности приводят к мощным вычислительным схемам, основанным на рекурсии. Тем самым облегчается установление вычислимости или завершаемости, что считается одной из сложнейших математических задач.

В естественных информационных процессах самоссылочность имеется изначально, например, в клетке содержится ее собственная схема. Представление о «вычислительном мышлении» вполне естественно укладывается в рамки такой парадигмы компьютеринга, которая описывает не только способ мышления, но и систему практики.

Собственные основания компьютеринга.

Сложившаяся ситуация подчеркивает явную недостаточность полного или частичного заимствования понятийной основы из математики, науки или инженерии и перенесении ее на

область компьютеринга [6-9]. Поскольку сама область компьютеринга находится в стадии становления, то для его развития все больше требуется собственная понятийная основа, согласующаяся с наблюдаемыми фактами и явлениями и обладающая предсказательной силой [10]. Например, Web-науки требуют систематического применения частично определенных функций, специального понимания областей, по которым пробегают переменных, интенсивного развития аппарата дескрипций и т.д. Информационные процессы требуют рассмотрения функций как процессов, вне зависимости от предварительного установления областей их определения и/или значения, как это принято в обычной математической практике.

Заключение.

Сознательно заузженная до рамок инженерии картина компьютеринга является явно недостаточной. Такая узкая трактовка в настоящее время приводит к ущербу в осуществлении инноваций, выполнения исследований в науке и развитии технологий. Это отражается не только на развитии и финансировании образования и научных исследований, но и на отношении общества к компьютерингу, а также и на выборе молодежью направления для своего карьерного роста.

Накопленные на сегодня результаты в применении компьютеринга свидетельствуют о настоятельной необходимости в повсеместном установлении его расширенного понимания и выработке усовершенствованной понятийной основы.

Литература.

1. Denning, P. J. and Freeman, P. A. Computing's paradigm. *Commun. ACM* 52, 12 (Dec. 2009), 28-30.
2. Denning, P. Computing is a natural science. *Commun. ACM* 50, 7 (July 2007), 15–18.
3. Denning, P. Who are we? *Commun. ACM* 44, 2 (Feb. 2001), 15–19.
4. Denning, P. et al. Computing as a discipline. *Commun. ACM* 32, 1 (Jan. 1989), 9–23.
5. Denning, P. and P.S. Rosenbloom. Computing: The fourth great domain of science. *Commun. ACM* 52, 9 (Sept. 2009), 27–29.
6. Wolfengagen V.E. Quarks, atoms, molecules of computing. – Proc. of the Russian-German Workshop «Innovation Information Technologies: Theory and Practice», Ufa, Russia, July 25-31, 2009, pp. 5-6
7. Вольфенгаген В.Э., Аппликативный компьютеринг: попытки установить природу вычислений. -- Сборник научно-популярных статей -- победителей конкурса РФФИ 2006 года. Выпуск 10. -- Под ред. чл.-корр. РАН В.И. Конова. -- М.: Октопус/Природа, 2007. -- с. 445-459 (http://www.rfbr.ru/default.asp?doc_id=28319)
8. Вольфенгаген В.Э. Комбинаторы: объекты, помогающие понять строение компьютеринга. – Сборник научно-популярных статей -- победителей конкурса РФФИ 2007 года. Выпуск 11 / Под редакцией члена-корреспондента РАН В.И. Конова. – М.: Издательство “Октопус”, 2008. - с. 365-378. (http://www.rfbr.ru/default.asp?doc_id=29492)
9. Вольфенгаген В.Э. Объекты в программировании: тенденции аппликативного подхода к вычислениям / Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению "Информационно-телекоммуникационные системы", 2008. - 36 с. (http://www.ict.edu.ru/lib/index.php?id_res=5641)
10. Вольфенгаген В.Э. Аппликативные вычислительные технологии. Готовые решения для инженера, преподавателя, аспиранта, студента. / Под. ред. к.т.н. Л.Ю. Исмаиловой. – М.: ЗАО ЮрИнфоР, 2009. 64 с.