

Métodos Quantitativos para Ciência da Computação Experimental

-Bloco #1-

Virgílio A. F. Almeida
Março 2006



Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais

Sobre a Organização do Curso

- Cada aluno deve seguir rigorosamente o programa de leituras, que está no programa do curso. Deve ainda acompanhar o material teórico do livro texto.
- Nota Final: leituras (10%), exercícios (10%), projeto (20%) e provas (60%)
- Projeto do Curso
 - Enfoque sistemático, com decisões de projeto explicitamente justificadas dentro do método científico.
- 2 provas (30% cada) em sala com problemas sobre a teoria
- Aulas: 50 minutos de apresentação do material teórico e o restante da aula será de discussão com os alunos.
 - Seleção de um voluntário por aula sobre o tema da aula e/ou artigo marcado para aula.
- Material do curso: www.dcc.ufmg.br/~virgilio

Programa: tópicos do curso

- O que é Ciência?
- O que é o Método Científico?
- O que é Ciência da Computação?
- Ciência da Computação Experimental e o Método Científico
- Monitoração
- Revisão dos Conceitos de Probabilidade, Estatística e Sumarização de Dados Medidos
- Comparação de Sistemas usando dados de amostragem e intervalos de confiança
- Modelos de Regressão Linear Simples e outros modelos
- Projeto Experimental (Design of Experiments)
- Apresentação Gráfica de Dados Experimentais
- Análise de Estudos de Casos em todos os tópicos

O que é Ciência?

- Quais as visões de vocês sobre o significado de ciência?

O que é Ciência?

- Ciência é o estudo sistemático das propriedades do mundo físico, através de medições e experimentos replicáveis e do desenvolvimento de teorias universais que são capazes de descrever e prever observações.
- As afirmações em ciência devem ser precisamente formuladas de modo que outros possam testá-las.
- Ciência é:
 - A observação sistemática de eventos naturais e condições com o propósito de descobrir fatos sobre os eventos e formular leis e princípios baseados nos fatos.
 - É um conjunto organizado de conhecimento, derivado de tais observações e que pode ser verificado ou testado para novas pesquisas
 - Um ramo específico do conjunto de conhecimentos, como biologia, física, geologia, astronomia e ... (CC???)

Métodos de Pesquisa Científica

- O Método Científico é o esquema lógico usado por cientistas na procura de respostas às questões colocadas dentro ciência, como também para formular teorias e assegurar os meios para produzi-las (instrumentos, ferramentas, algoritmos)
- Passos Fundamentais do Método Científico:
 1. Formular um problema: colocar uma questão
 2. Hipóteses: sugerir respostas plausíveis a serem testadas
 3. Teste: construir e realizar experimentos para verificar as proposições hipotéticas
 4. Aceitar (ou refutar) provisoriamente as hipóteses e fazer novos testes para verificar as teorias associadas as hipóteses
 5. Analisar e repetir, se for o caso.

Ciências, Objetos e Métodos

Ciência	Objetos	Método Dominante
	Simples	Análise
Lógica e Mat.	Abstrações, números, proposições, etc	Dedução
Ciências Naturais	Objetos naturais: matéria, organismos vivos, etc	Método dedutivo hipotético
Ciências Sociais	Indivíduos, grupos, sociedade, etc	Método dedutivo hipotético + hermenêutica(*)
Ciências Humanas	Idéias humanas, linguagens, cultura, etc	Hermenêutica
	Complexo	Síntese

(*) um ramo da filosofia que se debate com a compreensão humana e a interpretação de textos escritos

Ciência da Computação

- Que tipo de ciência?
- Quais são os objetos?
- Quais são os métodos de pesquisa?

O que é ciência da computação?

- “Computer Science is the study of computers and what they can do – the inherent powers and limitations of abstract computers, the design and characteristics of real computers, and the innumerable applications of computers to solving problems.” (*)

* National Research Council of the National Academies, USA

Computação, TI e outras áreas do conhecimento



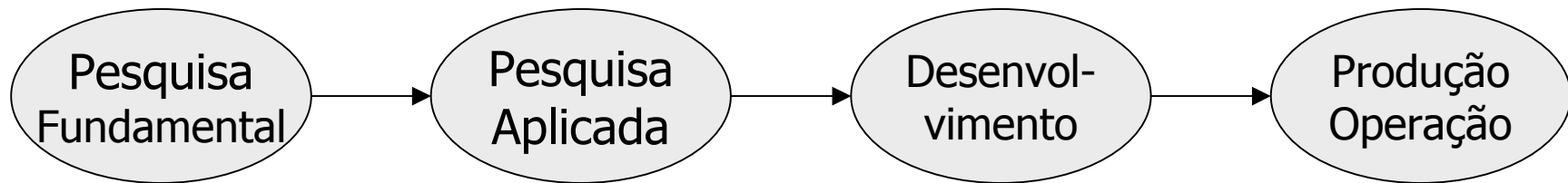
Núcleo-chave (“core”) da área:

- Algumas disciplinas típicas:
 - Algoritmos e complexidade computacional
 - Sistemas e arquiteturas
 - Linguagens de programação, compiladores e eng. software
 - Inteligência artificial
 - Interfaces e computação gráfica
 - Banco de dados
 -

Natureza e Forma da Pesquisa em Computação

- Classificação da Pesquisa
 - Básica x Aplicada
 - Modelo do Quadrante de Stoke
- Formas da Pesquisa:
 - Teórica x Experimental

Pesquisa – dicotomia: básica x aplicada



Modelo de Pesquisa: Matriz de Stoke*

Preocupação com os Fundamentos

Preocupação Com Uso

	Não	Sim
Sim	Pesquisa Aplicada Edison	Pesquisa Básica Inspirada pelo Uso Pasteur Computação
Não		Pesquisa Básica Bohr

***Pasteur's Quadrant, D. Stokes, 1997**

Virgilio Almeida, DCC-UFMG 2006

Forma da Pesquisa em Computação

- Forma da pesquisa:
 - teórica e experimental
- Ciência da computação teórica – tradições da lógica/matemática
 - Procura entender os limites da computação e a capacidade de paradigmas computacionais, bem como desenvolver soluções gerais para classes de problemas
- Ciência da computação experimental (CCE) é uma disciplina sintética, que envolve a criação e/ou experimentação e análise de artefatos computacionais.
 - Relação entre teoria e experimentação não é necessariamente intensa em ciência da computação, como ocorre em física, química, etc.

Ciência da Computação Experimental: o que é?

- Baseado em observações, dados, experimentos;
- Pesquisa experimental deve ser reproduzível!!!
- *Trabalho experimental* deve complementar a pesquisa teórica
 - Teorias podem ter incertezas (ex.: Qual a ordem de grandeza da constante k? É um problema difícil?).
 - Teorias podem resultar de observações.
 - Teorias podem ser testadas por observações.
 - De forma oposta, teorias podem guiar a pesquisa experimental.
 - Nem toda pesquisa em ciência da computação pode ser resolvida teoricamente (ex.: CHI, uso malicioso)

Pesquisa Experimental e artefatos computacionais

- Ciência da computação experimental (CCE) refere-se a criação de artefatos computacionais, que podem ser definidos como a implementação de um ou mais fenômenos computacionais.
- Podem ser extraordinariamente complexos;
- Papel dos artefatos na pesquisa em Ciência Computação:
 - Prova de desempenho (performance)
 - Prova de existência
 - Prova de conceito
- CCE envolve a criação e/ou experimentação com artefatos computacionais.
- Proximidade da CCE e engenharias, no que se refere à criação de artefatos (sistemas de computação, aviões, geradores de energia, etc)

Prova de Performance

- Um artefato funcionando como “proof-of-performance” provê:
- Um aparato para medição direta e experimentação
 - O artefato existe ou pode ser construído
 - Os resultados da prova são geralmente quantitativos
 - O artefato mais frequente nas pesquisas experimentais de computação e engenharia
- Exemplos: processador com arquitetura RISC, um novo algoritmo de busca

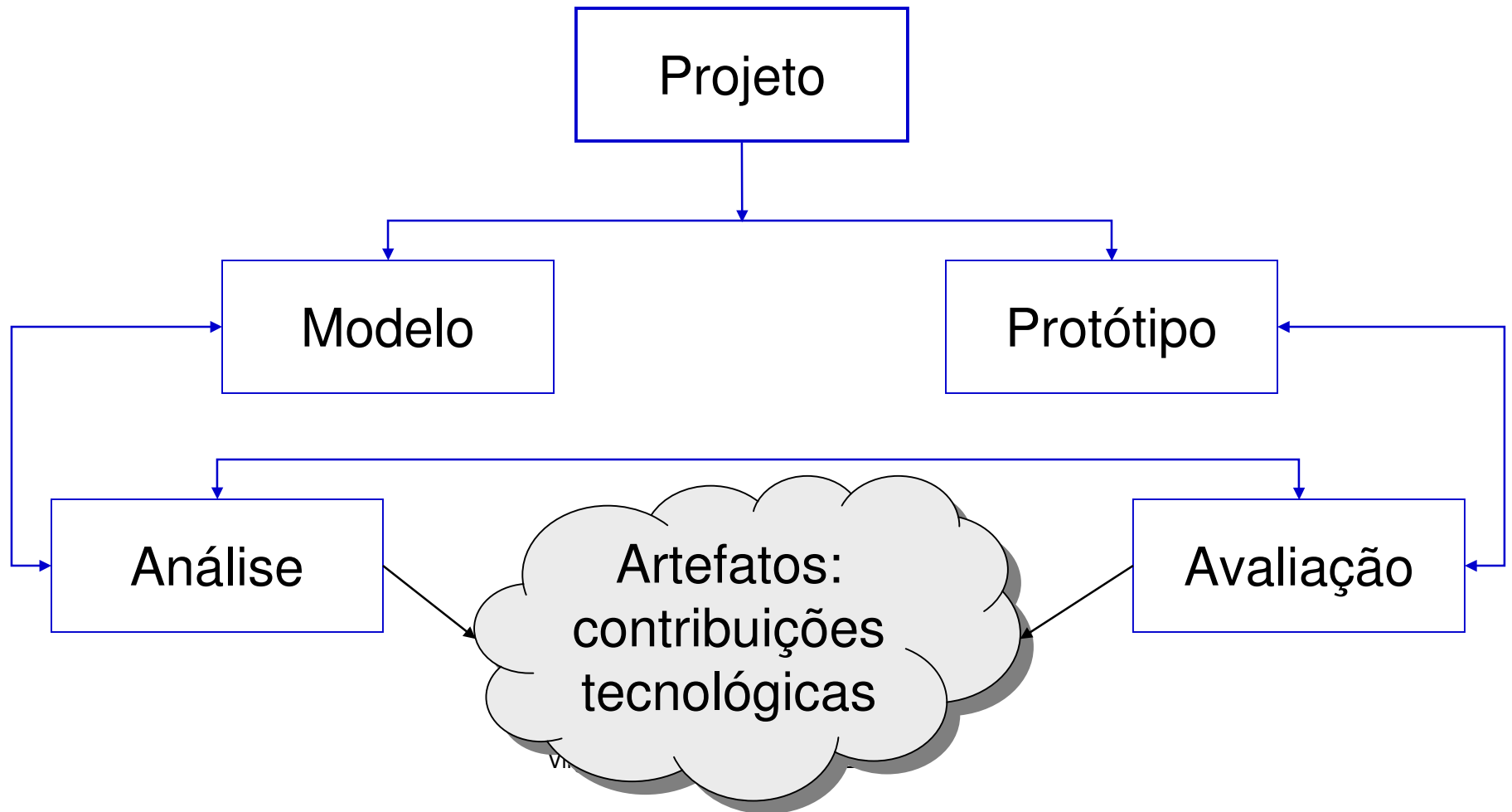
Prova de Conceito

- Um artefato funcionando como “proof-of-concept” demonstra pelo seu comportamento que um sistema complexo de componentes pode executar um determinado conjunto de atividades.
- O comportamento não poderia ser inferido ou determinado a partir de uma argumentação lógica ou uma argumentação baseada em alguns princípios básicos.
- O sistema em operação, isto é o artefato, é uma “testemunha” de prova que os conceitos estão corretos, pelo menos para aquela configuração.
- Exemplo: computadores experimentais implementando sistema de memória virtual ou uma CDN (content distribution network)

Prova de Existência

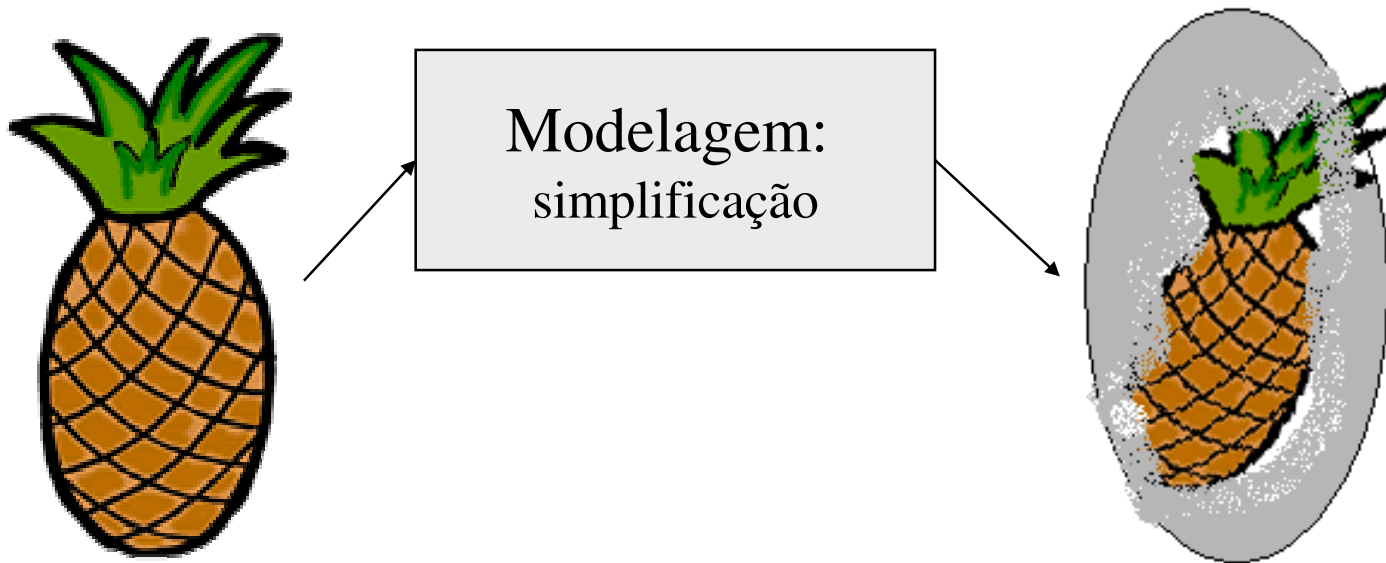
- Um artefato funcionando com o papel de “proof-of-existence” apresenta a essência de um fenômeno inteiramente novo.
- Exemplo: mouse, outros???
- Menos comum das três provas.

Ciência da Computação Experimental



Método Científico em Ciência da Computação

- Por que modelos?
- Modelos → abstrações, simplificações...



Experimentação em Sistemas Computacionais

Por que?:

“It doesn't matter how beautiful your theory is, it doesn't matter how smart you are – if it doesn't agree with the experiment, it's wrong.”

R. Feynman, físico - Prêmio Nobel
1965

Alguns tipos de “papers” em Ciência da Computação

- Três tipos de artigos que descrevem a implementação de um algoritmo:
 - Artigo de aplicação
“Aqui está um bom algoritmo para a solução X”
 - Artigo de “marketing”
“Aqui está um algoritmo novo e interessante”
 - Artigo Experimental
“Aqui está como o algoritmo comporta-se com dados reais”
- O método experimental deve se aplicar aos três tipos de artigos.

Discussão

- Apresentação dos alunos. Cada aluno deverá indicar na segunda aula, qual artigo da lista de leituras irá apresentar.
- Quais são interesses de pesquisa?
 - Quais conferências representam os problemas de interesse de sua comunidade de pesquisa?
- Voce tem algum projeto de pesquisa em andamento?
- Quais as razões que o levaram a fazer este curso?
(ex: *Meu orientador obrigou-me!*)
- Voce tem alguma “expertise” anterior no tema que pode ser útil para a turma?

Por que Ciência da Computação Experimental?

- Artigo básico:
 - W. Tichy in “Should Computer Scientists Experiment More?”
 - merlot.usc.edu/cs551-f03/papers/Tichy.pdf
- Experimentação: Modelo-teste da teoria
 - Feynman: um experimento pode sempre identificar falhas na teoria (ex.: hipótese/suposições violadas pela realidade)

Should Computer Scientists Experiment More?

By Walter Tichy

Presented by Virgilio Almeida

Outline

- Is Computer Science a Science?
- Why should we experiment?
 - Eight fallacies exposed
- Why substitutes won't work
- Inherent problems with experimentation

Is Computer Science a Science?

- No, an engineering discipline (F Brooks)
- Yes, much more than synthetic results
 - Study of info structures & processes
 - Synthetic results (computers & programs) are models
 - Difference: work with information – neither energy or matter

Is Computer Science a Science? (P. Denning, CACM 5/2005)

- Science of information processes and their interactions with the world.
- Science or technology (man-made objects)?
- Science means explaining, modeling and predicting phenomena in the world.
- Pure and applied science.
- In a sample of 400 papers before 1995, Tichy found that about 50% of those proposing models or hypothesis did not test them. In other fields of science the fraction of papers with untested hypothesis was about 10%.

Science versus Art

- Science
 - Principles
 - Fundamental laws
 - Explanation
 - Discovery
 - Analysis
 - Dissection
- Art
 - Practice
 - Skilled performance
 - Action
 - Invention
 - Synthesis
 - construction

Art refers to useful practices of a field.

Why should we experiment?

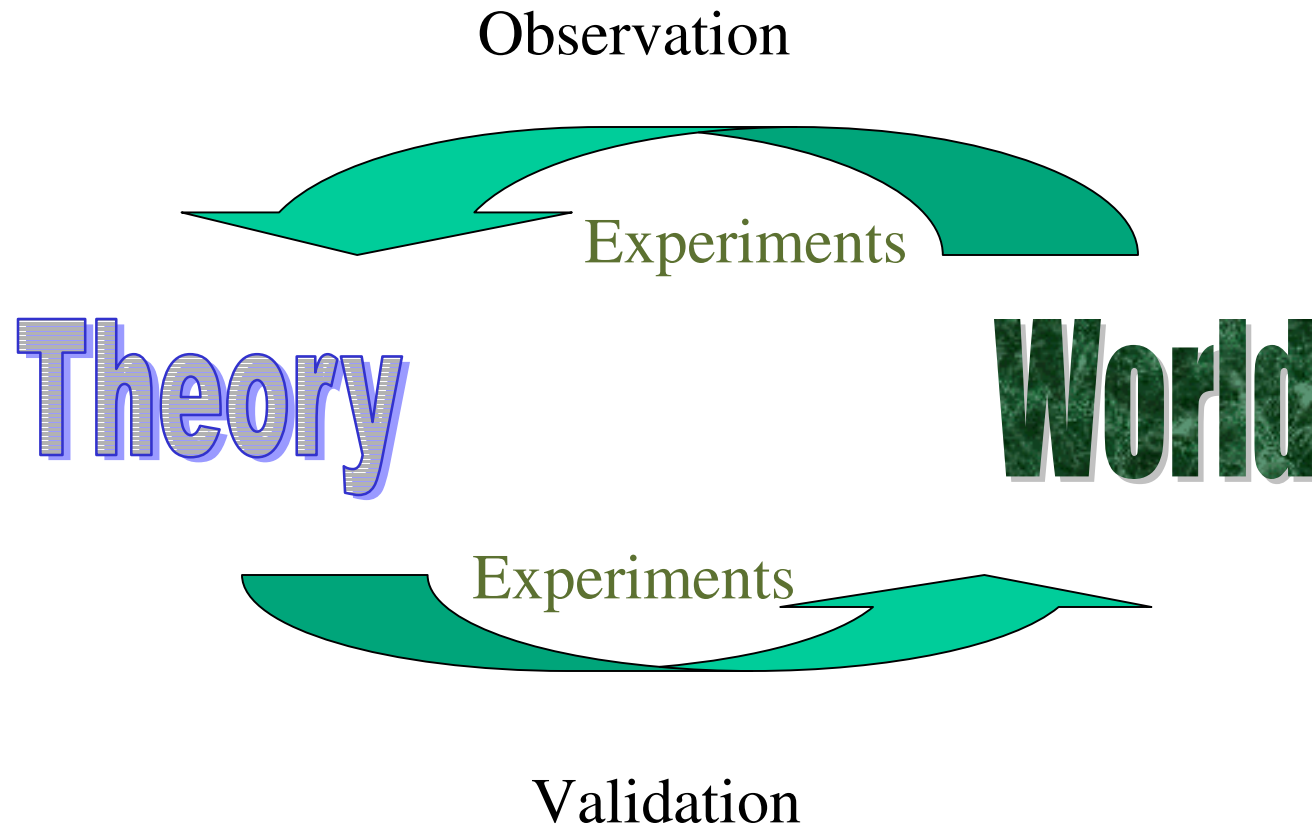
- Theory testing and exploration
 - Theory falsification
 - Knight and Leveson experiments
- Aid with induction or theory derivation
 - exploration

Eight Fallacies Exposed (#1)

Traditional scientific method isn't applicable

- *Rebuttal: To understand info processes, computer scientists must observe phenomena, formulate explanations, and test them. This is the scientific method.*
- Repeatability

Eight Fallacies Exposed (#1)



Eight Fallacies Exposed (#2)

The current level of experimentation is good enough

- *Rebuttal: Relative to other sciences, the data shows that computer scientists validate a smaller percentage of their claims*
- Balancing theory and eng. with experiment
 - Build reliable base & reduce uncertainties
 - Leads to new areas of investigation where engr progress is slow
 - Accelerate progress by pruning fruitless approaches

Eight Fallacies Exposed (#3)

Experiments cost too much

- *Rebuttal: Meaningful experiments can fit into small budgets; expensive experiments can be worth more than their cost*
- Constrained by cost
 - Plan appropriate research programs
 - Look for affordable experimental techniques
 - Intermediate steps with partial results
- Experiments in the industry
- Experiments in other areas
 - Pharmaceuticals, aeronautics, biology

Eight Fallacies Exposed (#4)

Demonstrations will suffice

- *Rebuttal: Demos can provide incentives to study a question further. Too often, however, these demos merely illustrate a potential*
- Proof of concept
- No solid evidence
- Require clear question, experimental apparatus to test the question, data collection, interpretation, sharing of results

Eight Fallacies Exposed (#5)

There's too much noise in the way

- *Rebuttal: Fortunately, benchmarking can be used to simplify variables and answer questions*
- Benchmarks
 - allow repeatable and objective comparisons
 - aids in identifying promising approaches and discarding poor ones
- Experiments involving humans also repeatable

Eight Fallacies Exposed (#6)

Experimentation will slow progress

- *Rebuttal: Increasing the ratio of papers with meaningful validation has a good chance of actually accelerating progress*
- Good conceptual papers will continue to be published
- Need to get beyond assertion

Eight Fallacies Exposed (#7)

Technology changes too fast

- *Rebuttal: If a question becomes irrelevant quickly, it is too narrowly defined and not worth spending a lot of effort on.*
- Probe for fundamental and not the ephemeral

Eight Fallacies Exposed (#8)

You'll never get it published

- *Rebuttal: Smaller steps are still worth publishing because they improve our understanding and raise new questions*
- Non-theoretical journals and conferences accept papers on solid experimentation
- Respectable experimentalists articulate how their systems contribute to our knowledge

Why Substitutes Won't Work

- Feature comparisons vs formulation of models, hypothesis and tests (experimentation)
- Intuition*** – good starting point but need solid evidence as backup
- Experts – don't always present evidence; maintain healthy skepticism

Inherent Problems with Experimentation

- Competing Theories
 - Weak reasoning gives way or combines with other theory
 - Rarely produce falsifiable theories
- Unbiased Results – involve managers and other decision-makers

Discussion

- Do you agree that we should experiment more?
- Are there weaknesses in his arguments?
- How can we empirically collect data and ensure that variables are controlled?
- Why does Computer Science have the word "Science"?