

Probabilités et simulation

application à l'analyse d'algorithmes et à la randomization

Équipe pédagogique

Jean-Marc.Vincent@imag.fr (Cours)



Arnaud.Legrand@imag.fr (TD)



Florence.Perronnin@imag.fr (TD)



Équipe-projet Polaris
Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Inria Rhône-Alpes
Université Grenoble-Alpes



Tri-Rapide (E, n)

Données : E ensemble de n éléments distincts comparables

Résultat : Le même ensemble trié

if $|E| = 1$

└ Return (E)

else

└ $x = \text{choix}(E)$

└ $E_{<} = \{y \in E, y < x\}$ $E_{>} = E - E_{<} - \{x\}$

└ Return (Tri-Rapide ($E_{<}$), x , Tri-Rapide ($E_{>}$))

Complexité :

- ▶ au pire : $\mathcal{O}(n^2)$,
- ▶ au mieux : $\mathcal{O}(n \log n)$,
- ▶ en moyenne : dépend des données en entrée

⇒ **analyse en moyenne $\mathcal{O}(n \log n)$ si les données en entrée sont réparties uniformément**

Tri-Rapide (E, n)

Données : E ensemble de n éléments distincts comparables

Résultat : Le même ensemble trié

if $|E| = 1$

└ Return (E)

else

└ $x = \text{choix-uniforme}(E)$

└ $E_{<} = \{y \in E, y < x\}$ $E_{>} = E - E_{<} - \{x\}$

└ Return (Tri-Rapide ($E_{<}$), x , Tri-Rapide ($E_{>}$))

Complexité :

- ▶ au pire : $\mathcal{O}(n^2)$,
- ▶ au mieux : $\mathcal{O}(n \log n)$,
- ▶ en moyenne :

⇒ **analyse en moyenne indépendante des données en entrée complexité en $\mathcal{O}(n \log n)$**

► **canal de communication bruité**

- taux de bruit \Rightarrow contrôle d'erreur
- qualification du protocole

ex : bit de parité, parité horizontale/verticale, CRC...

\Rightarrow maîtriser l'environnement

► composants électroniques

- durée de vie \Rightarrow mode de fonctionnement dégradé
- duplication des fonctionnalités
- dimensionnement

\Rightarrow maîtriser l'environnement

► canal de communication partagé pas de synchronisation

Send (M)

Données : Un message M à émettre

Résultat : Le message M délivré

repeat

```
  | if écoute-porteuse()  
  |   | émission-entête()  
  |   | if collision-déTECTÉE()  
  |   |   | transmission-interrompue()  
  |   |  
  |   | else  
  |   |   | attendre un certain temps
```

until transmission complète;

Exemple de règle :

à chaque échec on double l'intervalle I et on choisit **uniformément** sur I

⇒ utiliser **RANDOM** pour mélanger les comportements.

cryptage clé publique/privée $M = p \times q$ p et q grands nombres premiers
générer p avec une quasi-certitude qu'il est premier

Test-Prime(n, k)

Données : Entier n à tester, k nombre de témoins

Résultat : n est composé (sûr) ou fortement probablement premier

Calculer s et d vérifiant $n - 1 = 2^s d$

for k fois

$a =$ choix uniforme dans $[1, n - 1]$

if $a^d \bmod n \neq 1$ et $a^{2^r d} \bmod n \neq -1$ pour tous les r dans l'intervalle $[0; s-1]$

 Return (composé)

Return (probablement premier)

algorithme de Miller-Rabin

⇒ réduire la complexité d'un algorithme (acceptable).

Exemples

Adversaire

- ▶ Zero-knowledge proof
- ▶ Distributed Hash tables,
- ▶ ...

Anticipation

- ▶ Choix de branches dans un code
- ▶ Prefetching dans une hiérarchie mémoire (pagination)
- ▶ ...

Optimisation

- ▶ Recuit simulé, algorithmes génétiques
- ▶ Réseaux bayésiens (Akinator)
- ▶ ...

Recherche d'information

- ▶ Page Rank
- ▶

Probabilités : un outil de maîtrise de l'incertain

- ▶ Algorithmique : espace des données (loi uniforme), logs ou traces
- ▶ Modèle de connaissances : Machine Learning et Data Mining
- ▶ Système et réseau : caractérisation de trafic, de charge,...
- ▶ Contrôle stochastique, théorie des jeux

Probabilités : un outil algorithmique

- ▶ Algorithmique : randomisation des données
- ▶ Simulation et méthodes de Monte-Carlo
- ▶ Système et réseau : randomisation, simulation et validation

Probabilités : un concept fondamental

- ▶ aléatoire et machine de Turing
- ▶ quantité d'information et entropie (Shannon)

Objectif

- 1 Acquérir et maîtriser le langage des probabilités dans le contexte informatique (modélisation)
- 2 Savoir générer des données distribuées selon une loi donnée (écrire les algorithmes).
- 3 Savoir construire des plans d'expérience simples et savoir analyser les résultats avec rigueur.

Méthodes

- 1 Cours : aspects fondamentaux, grands exemples
- 2 TD : exercices avec résumé du cours, écriture d'algorithmes et de preuves, mise en œuvre
- 3 Expérimentation dans le cadre d'un mini-projet (éventuellement 2)

Evaluation

- 1 Examen écrit
- 2 Contrôle continu : Mini-projets + Quicks

Partie I : Structures discrètes

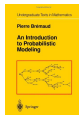
- 1 Analyse de données expérimentales
TD : Le générateur Random
- 2 Variables aléatoires de loi discrète
TD : Transformation de générateurs
- 3 Génération selon une loi discrète donnée
TD : Génération de loi discrète : distribution classique / arbitraire / non borné
- 4 Génération de structures combinatoires, fonction génératrice
TD : génération uniforme d'arbres
- 5 Analyse en moyenne d'algorithmes
TD : analyse de coût moyen, analyse du quicksort
- 6 Algorithmes randomisés
TD : calcul de la coupe min

Partie II : Espaces continus

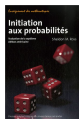
- 1 Génération selon une loi continue
TD : génération de vecteurs Gaussiens
- 2 Convergences : loi des grands nombres, fonction caractéristique
TD : génération de lois continues arbitraires
- 3 Analyse de données (statistiques descriptives)
TD : analyse d'échantillon
- 4 Estimation statistique et intervalles de confiance
TD : calcul de taille d'échantillon
- 5 Décision et tests
TD : test d'adéquation
- 6 Chaînes de Markov sur un espace discret
TD : modèles d'automates probabilistes

► **Ouvrages de base en probabilité:**

Introduction aux Probabilités. Pierre Brémaud, Springer, 2007.



Initiation aux probabilités Sheldon M. Ross, PPUR 2013.



► **Orienté analyse d'algorithmes :**

Analysis of algorithms Sedgewick & Flajolet, Addison Wesley 2012



► **Orienté évaluation de performances :**

The art of computer system performance analysis, Raj Jain, Wiley 1991

Measuring Computer Performance, Lilja Cambridge Univ Press 2005

► **Simulation à événements discrets :**

Simulation Sheldon M. Ross, Wiley 2012

