

Praktikum zur Vorlesung Algorithmische Bioinformatik WS2011/2012

Roland Krause, Matthias Winkelmann, Patrick Pett, Knut Reinert

5. Dezember 2011

1 Aufgabe P3

Bestimmen Sie die minimale Genmenge eines Bakteriums und analysieren Sie deren funktionelle Zusammensetzung.

2 Ziele und Ablauf

Das Pflichtpraktikum zur Vorlesung *Algorithmische Bioinformatik* umfasst die Anwendung von Algorithmen, die in der Vorlesung besprochen wurden, um Hypothesen für Experimente zu generieren. Ausgehend von vollständig sequenzierten Genomen wurden um die Jahrtausendwende eine Reihe von Bioinformatik-Analysen durchgeführt, die im Rahmen des Praktikums nachgearbeitet werden.

Ziel des Praktikums sind saubere, reproduzierbare Implementierungen der Algorithmen, besonders aber ihre Anwendung und die Interpretation der Ergebnisse.

2.1 Zeit und Ort

Die Teilnahme am Praktikum ist verpflichtend. Die Anwesenheit ist nur beim Einführungstermin am 5.12. nach der Vorlesung erforderlich. Das Praktikum läuft bis zum 16.12., Abgabetermin für den Bericht ist der 23.12.2011. Die Präsentationen und Nachbesprechungen erfolgen während der Tutorien am 3.1.2012.

Wer wegen Klausuren oder Kursen teilweise fernbleiben muss, schreibe eine E-Mail mit Begründung an <mailto:krause@molgen.mpg.de>.

Am 6. Dezember 2011 findet kein Tutorium statt. Am 13. wird der aktuelle Übungszettel besprochen und jede Gruppe berichtet über ihren Stand.

2.2 Ablauf

Zwischen den Aufgabengruppen dürfen Sie sich helfen. Tipps gibt es umsonst, ansonsten erwähnen Sie in ihrem Bericht, wenn sie Programme anderer Gruppen, zum Beispiel zum Vergleich oder wegen ungelöster Probleme angewandt haben.

Am MPI besteht nach Absprache die Möglichkeit der Nutzung des PC Pools.

Da der Platz am MPI auf 20 Personen beschränkt ist, sollten Sie sich überlegen, ob Sie am MPI arbeiten wollen.

Fragen und Terminanfragen richten Sie bitte an die Mailing Group *AlBi*¹. Wir werden die Gruppe nutzen, um weitere Informationen während des Praktikums weiterzugeben und Ihre Anfragen zu beantworten.

¹<https://lists.fu-berlin.de/listinfo/AlBi>

2.3 Bericht und Vortrag

Zum Praktikum ist ein Bericht anzufertigen, der etwa 10 Seiten reinen Text umfassen soll (1,5 zeilig, 12 Punkt). Orientieren Sie sich an wissenschaftlichen Arbeiten. Er besteht verbindlich aus

1. Einleitung
 - (a) Hintergrund
 - (b) Aufgabenstellung (Ihre Zusammenfassung)
 - (c) Überblick der Ergebnisse
2. Ergebnisse und Diskussion
mit Kapiteln zu den einzelnen Aufgabenblöcken
3. Abschluss und Bewertung
4. Literaturverzeichnis mit Referenzen, ordentlich formatiert und idealerweise kommentiert
5. Aufstellung der Beiträge der Gruppenmitglieder. Beschreiben Sie kurz wer in Ihrer Arbeitsgruppe welchen Teil der Aufgaben bearbeitet hat. Sie können sich an den *authors' contributions* in Artikeln in BMC Bioinformatics² orientieren.
6. Verzeichnissen der Abbildungen und Tabellen
7. Eventuell weitere Anhänge, etwa umfangreichere Abbildungen oder Tabellen

Code gehört nicht in der Bericht, es sei denn, sie wollen auf Besonderheiten in der Implementierung verweisen. Dann geben Sie nur die entscheidenden Zeilen an. Reichen Sie den Code, aber nicht die Ausgangsdaten, BLAST-Ergebnisse und andere einfach zu erzeugende Zwischendaten ein.

Der Bericht ist als zusammenhängendes PDF per E-Mail an <mailto:krause@molgen.mpg.de> einzureichen. Beachten Sie bei der Erstellung von Grafiken die Größe. Stichtag für die Abgabe ist Freitag, der 23. Dezember 2011, 18 Uhr.

Berichte, die nicht akzeptiert werden, müssen überarbeitet und erneut eingereicht werden.

Beginnen Sie den Aufschrieb am besten direkt mit den ersten Arbeiten und schreiben den Bericht zeitgleich als Logbuch, das Sie abschließend überarbeiten.

Sie werden Ihre Arbeit vortragen. Dazu sollte jeder Ihrer Gruppe in der Lage sein. Sie brauchen keinen ausgefeilten Vortrag vorbereiten sondern sollten sich anhand von Abbildungen aus dem Bericht und Stichpunkten durch Ihre Arbeit gehen. Diese Präsentation sollte etwa zehn Minuten dauern.

2.4 Grafiken

Der Bericht soll 3-4 aufbereitete Darstellungen der Ergebnisse in Publikationsqualität enthalten. Nach Möglichkeit ist die erste eine Übersicht der Vorgehensweise und der Ergebnisse (*Figure 1*) Alle Abbildungen sollen aussagekräftig, kompakt und übersichtlich sein. Achsenbeschriftungen, Legenden und klare Zuordnung von Datensätzen sind ebenso gefordert. Umfangreichere Abbildungen können Sie im Anhang unterbringen. Beachten Sie die Dateigröße.

²<http://www.biomedcentral.com/bmcbioinformatics/>

2.5 Code

Die Implementierung ist so zu strukturieren, dass sie vollständig wiederholt werden kann. Versuchen Sie Eingabedateien, Rechnerstrukturen und Umgebungen flexibel zu halten, sowie die Verwendung externer Programmpakete auf ein vernünftiges Minimum zu beschränken. Nach Möglichkeit läuft Ihr Code auf den Linux-Maschinen im Rechnerpool des MPI.

Strukturieren Sie Ihren Code in sinnvoller Weise. Verwenden Sie geeignete Datenstrukturen, sowie Funktionen oder Methoden, die 30 Zeilen nicht überschreiten.

Sie können Sprachen nach Wahl einsetzen, bevorzugt sind Python und R. BioPython und ähnlich Bibliotheken können eingesetzt werden; sie sind jedoch nicht erforderlich und wegen der Kürze der Zeit und den häufig unvollständigen Implementierungen unter Umständen hinderlich.

Code, der übermäßig repetitiv oder schlecht strukturiert ist (Copy&Paste-Programmierung, Spaghetti-Code) kann abgelehnt werden und muss anschließend refaktoriert werden.

Jedes Mitglied Ihrer Gruppe sollte einen Teil der Programmieraufgaben übernehmen. Dazu tragen Sie den Namen desjenigen im Kopf der Datei ein, die er oder sie geschrieben hat. Sie können gerne einander helfen. Als Autor gilt (im Rahmen des Praktikums) derjenige, der den Code eingegeben hat.

2.6 Hinweise für Literatursuchen

Für die Literatursuche sollten Sie sich mit den folgenden Stellen vertraut machen. Für Ihren Bericht sollten Sie weitere Informationen sammeln. Wenn Sie einen Artikel zitieren, sollten Sie wenigstens den Abstract gelesen haben.

1. PubMed <http://www.pubmed.com>
2. Google Scholar <http://scholar.google.com>
3. Zur Verfolgung von Zitierungen bietet sich der Thompson citation index <http://isiknowledge.com> an. Er ist aus dem MPI für Molekulare Genetik zu erreichen, eventuell auch über die FU.
4. Zu vielen Themen finden sich gute Einträge in der Wikipedia, insbesondere der englisch-sprachigen <http://en.wikipedia.org>. Beachten Sie die richtige Zitierweise aus der Wikipedia mit Angabe der Version³.

2.7 Datenquellen

Um die Laufzeiten der Programme, besonders der Homologiesuchen, überschaubar zu halten, werden nur 20 Genome verwendet. Damit kann man bereits gute und verlässliche Aussagen machen. Im einzelnen sind dies:

E. coli K12, *Bacillus subtilis*, *Bacteriodes thetaiotaomicron* VPI-5482, *Candidatus Pelagibacter ubique*, *Chromobacterium violaceum*, *Clostridium perfringens* 13, *Corynebacterium glutamicum*, *Deinococcus radiodurans*, *Helicobacter pylori*, *Listeria monocytogenes*, *Mycobacterium tuberculosis* H37Rv, *Methylobacterium inferorum*, *Porphyromonas gingivalis*, *Pseudomonas aeruginosa* PAO1, *Salmonella typhimurium* LT2, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae* R6, *Synechocystis*, *Thermotoga maritima*, *Trepomonema pallidum*.

Diese Genome repräsentieren für dieses Praktikum den gesamten Hintergrund an Sequenzen. Sie können bei Interesse weitere Genome zu dem Datensatz hinzufügen. Ihr Referenzgenom ist *Mycobacterium tuberculosis* H37Rv.

Zur Erstellung eines Stammbaumes ist es hilfreich, eine *outgroup* zu Verfügung zu haben. Dazu bieten sich die Archaeon *Haloquadratum walsbyi* an.

³http://en.wikipedia.org/wiki/Citing_Wikipedia

Bei der Genomauswahl empfiehlt es sich häufig, den ältesten sequenzierten Stamm zu wählen, weil es häufig der Laborstamm ist, für den die meisten experimentellen Daten bestehen. Außerdem muss man immer überprüfen, ob der Stamm vollständig sequenziert ist, oder ob das Projekt noch läuft. Diese Informationen erhält man in der GenBank-Datei.

3 Aufgaben

3.1 Literaturarbeit

- Ermitteln und lesen Sie die Publikation, in der die Sequenzierung Ihres Referenzgenoms beschrieben wurde. Geben Sie einen kurzen Überblick über den Organismus.
- Überlegen Sie, wie aktuell die Informationen aus diesem Artikel heute sind.
- Ermitteln Sie, wie häufig der Artikel zitiert wurde.

3.2 Genomvergleiche mittels BLAST

Für Ihre Hauptaufgabe benötigen Sie einen Abgleich der Ähnlichkeiten der Proteine untereinander, meistens um Orthologe bestimmen zu können. In einer ersten Analyse reicht es allerdings aus, nur das Referenzgenom zu betrachten. Sie können dazu eventuell auf die Skripte aus den Übungen zurückgreifen. Für die vergleichende Genomik werden typischerweise vollständige Homologie-Vergleiche aller Proteine durchgeführt.

1. **BLAST** Ihre Ausgangsdaten ermitteln Sie durch Vergleich mittels BLAST der Protein aller 20 Genome gegen die Proteine Ihres Referenzgenoms (*Mycobacterium tuberculosis* H37Rv).
 - (a) Genomdaten laden Sie am besten vom NCBI⁴. Automatisieren Sie dies reproduzierbar mittels `wget` o. ä.. Beachten Sie, dass Bakterien teils mehrere Plasmide und Chromosomen besitzen und dann mehrere Dateien pro Spezies verwendet werden müssen. Für Information über Lage im Genom und Annotation arbeiten Sie mit der GenBank-Dateien (`.gbk`), die entsprechende AA-Sequenzen finden Sie im FASTA-Format (`.faa`). Wofür stehen die anderen Dateierweiterungen?
 - (b) Für BLAST benötigen Sie die Sequenzdaten im FASTA-Format. Vor den Suchen müssen Sie die Datenbank indizieren.
 - (c) Untersuchen Sie die Möglichkeiten, die die lokale Installation von `blast` bietet, um es nachher mit dem Parsen der Daten einfacher zu haben, z.B. die Option, die Ergebnisse als Tabelle zu erhalten.
 - (d) Erstellen Sie sich ein kleines Testset und probieren Sie verschiedene Optionen, bevor Sie die gesamten Daten laufen lassen.
 - (e) Schreiben Sie einen geeigneten Parser, um sich einen Überblick über die Anzahl der Treffer eines Gens im gesamten Datensatz zu verschaffen. Erstellen Sie dazu Abbildungen.
2. **Orthologe** Ermitteln Sie die *Bidirectional Best Hits* von jedem Protein des untersuchten Genoms (*Mycobacterium tuberculosis* H37Rv) zu jedem anderen Genom des Datensatzes. Bereiten Sie die Daten anschaulich auf.
3. **Inparalogue und Koorthologe** Bestimmen Sie, welche Gene Ihres Referenzgenoms Inparalogue sind. Dazu müssen Sie einfach die Proteine ermitteln, deren bester Treffer im eigenen Genom liegt. Für die Bestimmung des *Bidirectional Best Hits* (s.o) sind diese Proteine nämlich störend. Da die Duplikation der Inparalogen per Definition nach dem letzten betrachteten Speziationereignis stattgefunden hat, sollten diese zwei eng verwandten Gene für die Analyse als eines betrachtet werden (Koorthologie). Führen Sie die Orthologie-Untersuchung erneut durch, indem sie entweder das Protein aus dem Datensatz entfernen und die BLAST-Suchen wiederholen (Zeitaufwand) oder indem Ihr Programm zur Bewertung der Orthologen diese Information berücksichtigt (Programmieraufwand). Werten Sie aus, wie viele Proteine als Inparalogue betrachtet werden. Für sehr kleine Genome kann es passieren, dass auf diese Weise keine Inparalogen gefunden werden. Testen Sie in diesem Fall die Funktionalität ihrer Implementierung an einem geeigneten Beispiel.

⁴<ftp://ftp.ncbi.nih.gov/genomes/Bacteria>

3.2.1 Gene und Proteine

In der Praktikumsanleitung und in der Literatur werden die Begriffe *Gen* und *Protein* austauschbar genutzt. Prinzipiell sind wir an den Eigenschaften aller Gene interessiert, da aber der Großteil der Gene Protein-kodierend sind, werden nur diese untersucht.

3.2.2 Frage

1. Warum führt man den Vergleich mittels der Protein-Sequenzen der Gene durch und nicht der DNA-Sequenzen?

3.3 Phylogenetische Profile

Als phylogenetische Profile bezeichnet man die Verteilung von Genen in unterschiedlichen Organismen, gewissermaßen eine Matrix von Spezies und Genen. Ein bestimmtes Profil ist die Zeile eines Gens.

3.3.1 Allgemeine Analyse

Untersuchen Sie zuerst, welche Verteilungen des Vorhandenseins von korrespondierenden Genen typisch für Ihren Organismus ist.

1. **Kriterien für Konservierung** Ermitteln Sie gute Kriterien, um zu entscheiden, ob Sie ein bestimmtes Protein als vorhanden betrachten. Dazu können Sie E-Werte oder die Orthologiekriterien mittels *Bidirectional Best Hit* verwenden.
2. **Häufige Profile** Ermitteln Sie die häufigsten Muster. Stellen Sie sie dar und werten die phylogenetische Verteilung aus.
3. **Entstehung von Genen** Verwenden Sie Ihren Referenzbaum, um Profile von Genen zu finden, die ohne Verlust- oder Hinzugangsereignisse erklärbar sind. Dazu müssen Sie das Profil auf die terminalen Knoten (Blätter) des Baumes projizieren und den Baum daraufhin untersuchen, wie viele Zugangsereignisse sie im Baum eintragen müssten.
Wenn das Gen in allen Spezies zu finden ist, ist es wahrscheinlich bereits vor allen Speziationsereignissen entstanden. Wenn das Gen beispielsweise in zwei entfernten Spezies a, w auftritt, aber nicht in den engverwandten Spezies a, b müsste man mehr als ein Zugangsereignis postulieren. Damit wäre es für diese Analyse zu verwerfen.
4. **Verteilung** Suchen Sie eine geeignete Verteilung, um die Anzahl der Treffer in anderen Genomen zu beschreiben.
5. **Seltene Verteilungsmuster** Suchen Sie die Gene, die ungewöhnliche Verteilungen aufweisen, besonders solche, die in vielen Organismen zu finden sind, aber nicht in allen. Eventuell sind Sie an die Erkennungsgrenzen des einfachen BLAST gelangt. Versuchen Sie mittels verbesserter Homologiesuchen die Existenz oder aber das Fehlen des Gens zu bestätigen.
 - (a) **PSI-Blast** Dieses iterative Verfahren ist einer der wichtigsten. Die Implementierung im BLAST-package heisst `blastpgp`.
 - (b) **Suche mit Protein-Domänen** Suchen Sie die Proteinfamilie in der PFAM-Datenbank⁵. Laden Sie sich die entsprechenden Domänen und durchsuchen Sie die Zielgenome.

⁵<http://pfam.sanger.ac.uk>

6. **Validierung mittels Stoffwechselwegen** Können Sie bestimmte Muster metabolischen Pfaden zuordnen? Sie können zuerst die Annotation in der Genbank-Datei nutzen oder sie Ressourcen nutzen. Wir werden zur Laufzeit des Praktikums dazu Informationen

3.3.2 Minimale Genmenge

1. **Bestimmung der minimalen Genmenge** Ermitteln Sie, welche Gene in sämtlichen betrachteten Organismen vorhanden sind (*minimal gene set*). Dazu lässt sich beispielsweise ein Orthologiekriterium wie *bidirectional best hit* verwenden oder aber ein simpler E-value-Schwellenwert.
2. **Ausführliche Interpretation** Da es bei sich den meisten betrachteten Organismen um freilebende Spezies handelt, stellt sich die Frage, ob es einen gemeinsamen Kern an Genen gibt, der in jedem Mikro-Organismus vorhanden sein muss. Interpretieren Sie Ihre Ergebnisse mit Bezug auf die aktuelle Literatur[1] und [2].
3. **Alternativ: Vergleich mit Mycoplasma** Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse, in dem Sie sie mit den Daten in Mycoplasma vergleichen[1].

4 Anhang

4.1 Versionierung

Bei gemeinsamem Arbeiten ist es zweckmäßig, eine Versionierung mittels Subversion, Git oder Bazaar durchzuführen.

4.2 Weitere nützliche Programme

- **Artemis** Visualisierung von Genomsequenzen. Funktioniert gut für Bakterien⁶.
- **Artemis Comparison Tool** Zum Vergleich von zwei Genomen
- **iTOL** Eigentlich *interactive tree of life* Darstellung von phylogenetischen Bäumen im Webbrowser⁷.
- FigTree

4.3 Server am MPI

Für größere Berechnung steht am MPI Molgen ein 40-Knoten-Cluster zu Verfügung, der sich auch ohne Rechnerlaubnis am MPI nutzen lässt. Dazu muss man sich lokal auf den Linux-Rechnern des PC pools anmelden. Der Benutzername ist "l" + *Computername*, das Passwort "gast". Der Zugang ist stark beschränkt, kann aber die meisten Programme der Infrastruktur am MPI nutzen.

Zur Nutzung mache man sich mit den Programmen **qhost**, **qsub** und **qstat** vertraut (**man qsub**). Man lege ein Skript, etwa namens **blastgr12.sh** an, das die entsprechenden Befehle enthält und schicke es mit **qsub -q students.q blastgr12.sh** ab. Es empfiehlt sich, alle Pfade zu Daten und Programmen voll zu qualifizieren.

Das Verzeichnis für alle Berechnung sollte **/scratch/ha164.hpc/pcpool/ + Gruppenname** sein. Berechnungen im Home-Verzeichnis schränken die Netzwerkverbindung des Instituts stark ein und werden mit Besuchen vom Systemadministrator und sowie Kuchenbacken geahndet.

⁶<http://www.sanger.ac.uk/resources/software/artemis/>

⁷<http://itol.embl.de>

4.4 Literaturverzeichnis

Literatur

- [1] J. I. Glass, N. Assad-Garcia, N. Alperovich, S. Yooseph, M. R. Lewis, M. Maruf, C. A. Hutchison, H. O. Smith, and J. C. Venter. Essential genes of a minimal bacterium. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 103(2):425–430, Jan 2006.
- [2] E. V. Koonin. How many genes can make a cell: the minimal-gene-set concept. *Annu Rev Genomics Hum Genet*, 1:99–116, 2000.