technische universität
dortmund

Bachelorarbeit

Parallelisierung einer speichereffizienten Approximation der LZ77-Faktorisierung

Gajann Sivarajah

Gutachter:
Prof. Dr. Johannes Fischer
M.Sc. Patrick Dinklage

Technische Universität Dortmund
Fakultät für Informatik
LS-11
http://afe.cs.tu-dortmund.de

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation und Hintergrund

Eine Referenz [1].

1.2 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2

Grundlagen

Zunächst stellen wir die verwendete Terminologie und relevante Konzepte bzw. Phänomene dar.

2.1 Kompression

2.1.1 Verlustfreie Kompression

Der Prozess der Kompression überführt eine Repräsentation einer finiten Datenmenge in eine möglichst kompaktere Form. Eine verlustfreie Kompression ist gegeben, falls die Abbildung zwischen der ursprünglichen und komprimierten Datenmenge bijektiv ist. Die Korrektheit einer verlustfreien Kompression kann daher durch die Angabe einer Dekompressionsfunktion nachgewiesen werden. Ist diese Vorraussetzung nicht gegeben, so handelt es sich um eine verlustbehaftete Kompression, da eine Rekonstruktion der ursprünglichen Datenmenge nicht garantiert werden kann.

2.1.2 Eingabe

Unsere Eingabe sei durch eine n-elementige Zeichenfolge $S = e_1...e_n$ über dem numerischen Alphabet Σ mit $e_i \in \Sigma \; \forall i = 1, ..., n$ gegeben. Für jede beliebige Zeichenfolge S wird mit $|S|$ dessen Länge n bezeichnet. Der Ausdruck $S[i..j] \in \Sigma^{j-i+1}$ mit $1 \leq i \leq j \leq n$ beschreibt die Teilfolge $e_i...e_j$, wobei im Falle, dass $i = j$ ist, das einzelne Zeichen e_i referenziert wird. Alternativ kann ein einzelnes Zeichen e_i auch durch $S[i]$ referenziert werden. Eine Teilfolge der Form $S[1..k]$ mit $k \leq n$ wird als Präfix von S bezeichnet.

2.1.3 Faktorisierung

Ein charakteristisches Merkmal für die Klasse von Lempel-Ziv-Kompressionsverfahren ist die Repräsentation der Ausgabe in Form einer Faktorisierung. Für eine Eingabe $S = e_1...e_n$

wird eine Faktorisierung $S = f_1...f_z$ mit $z \leq n$ derart erzeugt, dass die Faktoren S in eine equivalente Folge von nichtleeren Teilfolgen zerlegt werden. Hier ist jeder Faktor f_i mit $1 \leq i \leq z$ als Präfix von $S[|f_1...f_i-1|+1..n]$ definiert, der bereits in $S[1..|f_1...f_i|]$ vorkommt oder als einzelnes Zeichen ohne vorheriges Vorkommen. Die im Folgenden betrachteten Algorithmen können speziell der Klasse der LZ77-Kompressionsverfahren zugeordnet werden, dessen Faktoren im Schema des Lempel-Ziv-Storer-Szymanski repräsentiert werden sollen. Zur Darstellung von Referenzen wird das Tupel (len, pos) verwendet, wobei pos die Position des vorherigen Vorkommens und $len > 0$ die Länge des Faktors beschreibt. Einzelne Zeichen können wiederum durch das Tupel $(0, e)$ mit $e \in \Sigma$ dargestellt werden.

2.1.4 Binäre (De-)Kodierung

Die Abbildung $Bin_{IO} : \Sigma^* \to N$ gibt die Anzahl der Bits für die Kodierung einer beliebigen Zeichenfolge an. Im Rahmen dieser Arbeit gehen wir davon aus, dass die Eingabe S in binärer Form vorliegt und auf dem Alphabet $\Sigma = \{1, ..., 255\}$ erzeugt wurde. Jedes Zeichen wird durch 8 Bits, oder 1 Byte, dargestellt und erlaubt einen Offline-Zugriff. Die gesamte binäre Eingabegröße sei damit gegeben durch

$$N_{Bin} = \sum_{i=1}^{|S|} Bin_{IO}(S[i]) = 8 * |S|. \tag{2.1}$$

Die eingelesene Eingabefolge wird durch den Kompressionsalgorithmus in die Faktorfolge $S = f_1...f_z$ überführt. Jeder Faktor f_i, der Form (len, pos) oder $(0, e)$, werde durch $Bin_{IO}(f_i)$ Bits kodiert. Die binäre Ausgabegröße ergibt sich aus dem Ausdruck

$$Z_{Bin} = \sum_{i=1}^{z} Bin_{IO}(f_i). \tag{2.2}$$

, wobei die Anzahl der Bits für die Kodierung der Faktoren f_i durch den Kompressionsalgorithmus und der Kodierungsstrategie bestimmt wird.

2.1.5 Metriken

Die Qualität einer Kompression kann durch verschiedene Metriken quantifiziert werden. Zum Einen beschreibt die Kompressionsrate CR den Grad der Kompression und ist durch den Ausdruck,

$$CR = \frac{Z_{Bin}}{N_{Bin}} \tag{2.3}$$

, definiert. Da die Kodierung der Faktoren nicht eindeutig aus der Wahl des Kompressionsalgorithmus eingegrenzt wird, ist stattdessen die Anzahl der erzeugten Faktoren ein weiteres geeignetes Gütemaß. Für die Eingabe S der Länge n und der Ausgabe $f_1...f_z$ sei die Faktorrate durch

$$FR = \frac{z}{n} \tag{2.4}$$

gegeben. In beiden Fällen wird ein niedriger Wert bevorzugt, da dieser auf eine bessere Extraktion von Redundanzen hinweist.

2.2 Parallelität

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung und Evaluation eines parallel Kompressionsalgorithmus. Im Folgenden definieren wir die Rahmenbedingungen und Konzepte der Parallelität.

2.2.1 Shared-Memory-Modell

Unser Algorithmus agiere auf einem Shared-Memory-Modell mit P Ausführungseinheiten, welches im Gegensatz zum Distributed-Memory-Modell allen beteiligten Ausführungseinheiten bzw. Prozessoren einen gemeinsamen Zugriff auf den Speicher ermöglicht. Im Rahmen der Arbeit und Kommunikation unter den Prozessoren wird man jedoch auf Konflikte bei gleichzeitigen Speicherzugriffen zustoßen. Ein parallel modellierter Algorithmus muss explizit hinsichtlich der Korrektheit und Effizienz Mechanismen zur Synchronisation implementieren.

2.2.2 Metriken

Das Ziel der Parallelisierung eines Algorithmus liegt hauptsächlich in einer Verbesserung der Laufzeit, insbesondere unter Berücksichtigung von Ressourcenkonflikten. Die zeitliche Beschleunigung der Laufzeit kann durch den Speedup SP bemessen werden. Für eine Eingabe S brauche ein sequenzieller Durchlauf $T(n, p = 1)$ Zeit, während ein paralleler Algorithmus mit P Prozessoren $T(n, p = P)$ an Zeit benötigt. Der Speedup ist dabei definiert durch

$$SP(n, P) = \frac{T(n, 1)}{T(n, P)}. \tag{2.5}$$

Kapitel 3

Praktische Evaluation

3.1 Experimentelle Umgebung

Die folgenden Experimente wurden auf Ubuntu 24.04 auf einem Rechner mit 16 ???? Prozessoren und 128GB RAM durchgeführt. Die C++-Implementierung wurde mithilfe von GCC in der Version 13.1 kompiliert.

3.2 Implementierung

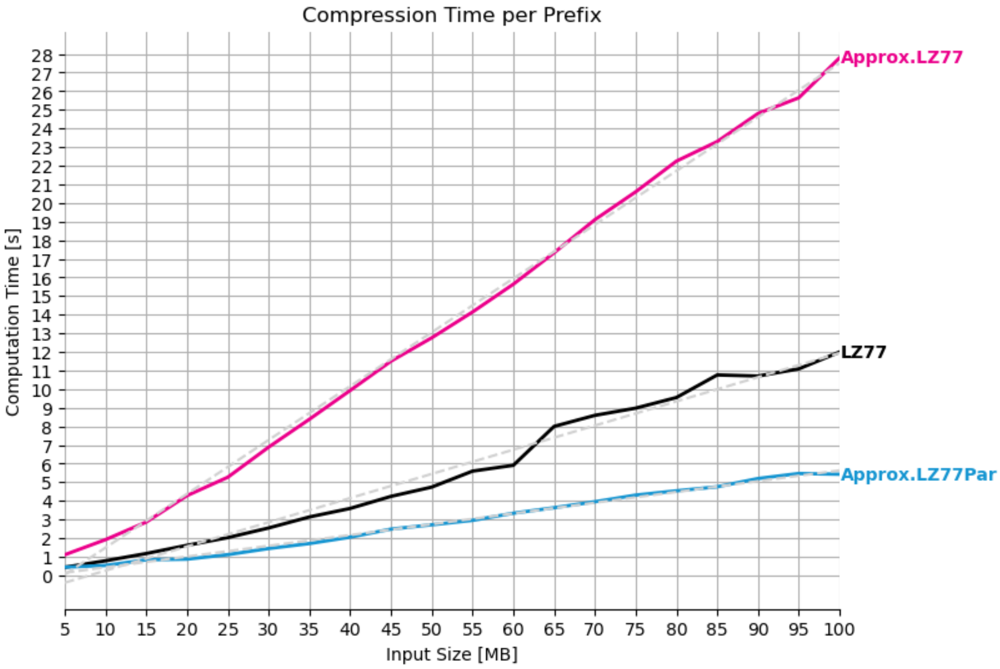
Die Implementierung der Algorithmen erfolgte im C++20-Standard.

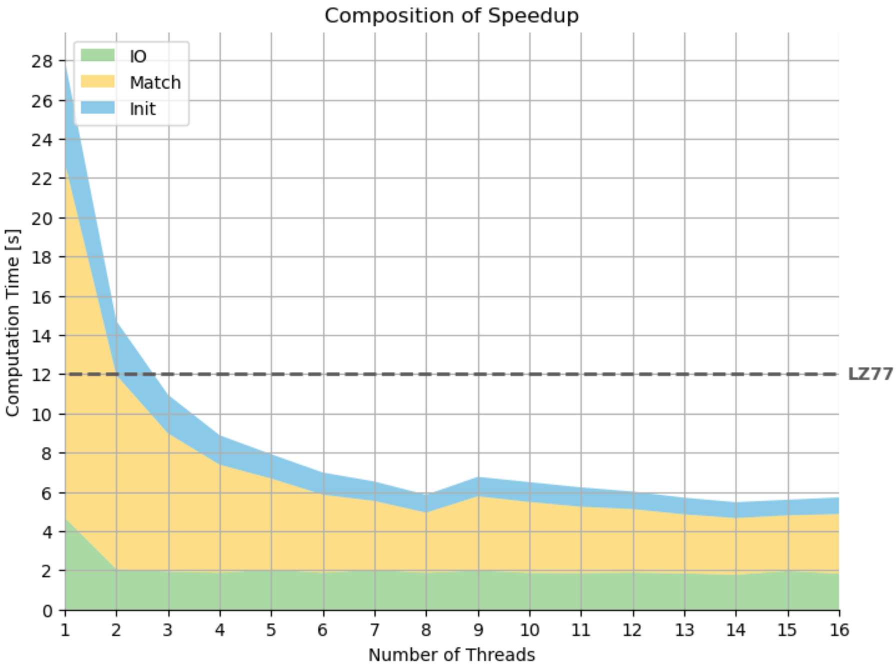
3.3 Daten

Die Experimente wurden auf verschiedenen Datenbausteinen vom Pizza & Chili-Corpus durchgeführt.

3.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Experimente sind in den folgenden Tabellen und Abbildungen dargestellt.


Compression Time per Prefix
Computation Time [s]
Input Size [MB]
Approx.LZ77
LZ77
Approx.LZ77Par
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100


Composition of Speedup
IO
Match
Init
LZ77
Computation Time [s]
Number of Threads
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

Kapitel 4

Das zweite Kapitel

Anhang A

Weitere Informationen

Abbildungsverzeichnis

Algorithmenverzeichnis

Literaturverzeichnis

[1] AGGARWAL, ALOK und JEFFREY SCOTT VITTER: *The Input/Output Complexity of Sorting and Related Problems.* Communications of the ACM, 31(9):1116–1127, 1988.

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet sowie Zitate kenntlich gemacht habe.

Dortmund, den 24. Juni 2024

Muster Mustermann