

Aufzeichnungen zur Mathematik

John Smith, 2016
Lizenz: CC0

Inhaltsverzeichnis

1 Logik	1
1.1 Zerlegung des Allquantors	1
2 Analysis	2
2.1 Halley-Verfahren	2

1 Logik

1.1 Zerlegung des Allquantors

Eine periodische Funktion f erfüllt die Gleichung

$$f(x) = f(x + T) \quad (1)$$

definiert. Macht man eine Substitution $x := u - T$, so ergibt sich

$$f(u - T) = f((u - T) + T) = f(u). \quad (2)$$

Somit gilt auch $f(x) = f(x - T)$. Diese Folgerung war sehr kurz, eigentlich zu kurz um wissenschaftlich zu sein.

Eine Funktion $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ heißt periodisch mit Periode T , falls die Funktionalgleichung

$$\forall x \in \mathbb{R}: f(x) = f(x + T) \quad (3)$$

erfüllt ist. Für die Gleichung ergibt sich zunächst der folgende abstrakte Syntaxbaum (AST):

```
(=
  (f x)
  (f (+ x T)))
```

Aber was ist mit dem Allquantor? Der Allquantor ist eigentlich eine Funktion in zwei Variablen. Das erste Argument ist eine Menge M , das zweite ein Prädikat p . Der Allquantor überprüft nun, ob das Prädikat p für alle Elemente von M gültig ist. Wir wandeln nun die Schreibweise durch

$$\forall x \in M: p(x) \longrightarrow \text{all}(M, p) \quad (4)$$

um. Die Funktionalgleichung wird als nun in der Form

$$\text{all}(\mathbb{R}, \lambda x. f(x) = f(x + T)) \quad (5)$$

dargestellt. Dazu gehört folgender AST:

```
(all IR
  (lambda (x)
    (=
      (f x)
      (f (+ x T))))))
```

Unter einer *freien Substitution* versteht man nun den Austausch jedes Vorkommens einer *freien Variable* durch einen AST. Durch den λ -Term wird die Variable x nun gebunden, ist also nicht mehr frei. Daher können wir nicht einfach eine freie Substitution $[x:=u-T]$ durchführen.

Viel mehr gilt die folgende Regel. Ist g eine passende Bijektion, so gilt

$$\text{all}(M, p) = \text{all}(g^{-1}(M), p \circ g). \quad (6)$$

Z.B. wählt man $M := \{1, 2, 3\}$ und $p(x) := (x < 4)$ sowie $g(x) := x/2$. Somit ergibt sich

$$\begin{aligned} &(\forall x \in \{1, 2, 3\}: x < 4) \\ &= (\forall x \in \{2, 4, 6\}: x/2 < 4). \end{aligned}$$

Sei nun $g(x) := x - T$. Nun ist $g^{-1}(\mathbb{R}) = \mathbb{R}$. Wendet man das nun auf (5) an, so ergibt sich

$$\text{all}(\mathbb{R}, \lambda x. f(x - T) = f(x)). \quad (7)$$

Es handelt sich also eigentlich nicht um eine Substitution, sondern um die Verkettung des Prädikats mit einer Funktion. Sicherlich lässt sich eine solche durch eine Substitution darstellen, aber das ist sehr schwammig. Und diese Schwammigkeit fällt erst auf, wenn der Allquantor auch ausgeschrieben wird. Im Allquantor ist ja, wie wir gesehen haben, eine Variablenbindung enthalten.

Doch warum darf man (6) eigentlich anwenden? Nun, hierzu zerlegen wir den Allquantor weiter. Es ist nämlich

$$\text{all}(M, p) = (p(M) = \{\text{true}\}). \quad (8)$$

Sei id die identische Funktion. Nun ist aber p das selbe wie $p \circ \text{id}$. Außerdem gilt ja $\text{id} = g \circ g^{-1}$. Somit ergibt sich

$$\begin{aligned} p(M) &= (p \circ g \circ g^{-1})(M) \\ &= (p \circ g)(g^{-1}(M)). \end{aligned}$$

In der letzten Gleichung wurde $(f \circ g)(M) = f(g(M))$ verwendet. Das soll noch schnell gezeigt werden. Es gilt

$$\begin{aligned} (f \circ g)(M) &= \{(f \circ g)(x) \mid x \in M\} \\ &= \{f(y) \mid y = g(x) \wedge x \in M\} \\ &= \{f(y) \mid y \in g(M)\} = f(g(M)). \end{aligned}$$

Nun gut, das ist auch ein Pseudobeweis. Wir können hier noch

$$\bigcup_{i \in I} f(A_i) = f\left(\bigcup_{i \in I} A_i\right) \quad (9)$$

verwenden. Dann gilt aber

$$\begin{aligned} (f \circ g)(M) &= \bigcup_{x \in M} \{f(g(x))\} = \bigcup_{x \in M} f(\{g(x)\}) \\ &= f\left(\bigcup_{x \in M} \{g(x)\}\right) = f(g(M)). \end{aligned}$$

2 Analysis

2.1 Halley-Verfahren

Im Folgenden wird die Herleitung des Halley-Verfahrens unter Verwendung einer Padé-Approximation dargestellt. Die Padé-Approximation $R[m, 0]$ ist die Taylorreihe. Sei

$$a_k = \frac{1}{k!} f^{(k)}(x_0).$$

Die Taylorreihe ist

$$R[m, 0] = \sum_{k=0}^m a_k (x - x_0)^k.$$

Sei

$$A = \begin{vmatrix} a_{m-n+1} & a_{m-n+2} & \dots & a_{m+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & a_{m+1} & \dots & a_{m+n} \\ \sum_{i=n}^m a_{i-n} x^i & \sum_{i=n-1}^m a_{i-n+1} x^i & \dots & \sum_{i=0}^m a_i x^i \end{vmatrix}$$

und

$$B = \begin{vmatrix} a_{m-n+1} & a_{m-n+2} & \dots & a_{m+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & a_{m+1} & \dots & a_{m+n} \\ x^n & x^{n-1} & \dots & x^0 \end{vmatrix}.$$

Es ist $R[m, n] = A/B$. Ersetze dann x gegen $x - x_0$. Es ist

$$\begin{aligned} R[1, 1] &= \frac{a_1(a_0 + a_1x) - a_0a_2x}{a_1 - a_2x} \\ &= \frac{a_0a_1 + (a_1^2 - a_0a_2)x}{a_1 - a_2x}. \end{aligned}$$

Die Nullstelle von f ist gesucht, und die Approximation muss dort auch ungefähr null sein. Setzt man also $R[1, 1](x) = 0$, so folgt

$$0 = a_0a_1 + (a_1^2 - a_0a_2)x.$$

Ersetzt man noch x gegen $x - x_0$ und formt danach um, so erhält man

$$x = x_0 - \frac{a_0a_1}{a_1^2 - a_0a_2}.$$

Ausgeschrieben bekommt man also $x = \varphi(x_0)$ mit

$$\varphi(x) = x - \frac{2f(x)f'(x)}{2f'(x)^2 - f(x)f''(x)}.$$

Das Halley-Verfahren ist dann die Fixpunktiteration $x_{n+1} = \varphi(x_n)$. Man sieht, dass das Halley-Verfahren in das Newton-Verfahren übergeht, wenn man $f(x)f''(x)$ verschwinden lässt.