

Analyse von Pflanzenwachstum auf Basis von 3D-Punktwolken

Masterarbeit

zur Erlangung des Grades *Master of Science*

an der

Hochschule Niederrhein

Fachbereich Elektrotechnik und Informatik

Studiengang *Informatik*

vorgelegt von

Jakob Görner

1003660

Datum: 7. September 2021

Prüfer: Prof. Dr. Regina Pohle-Fröhlich

Zweitprüfer: Prof. Dr. Christoph Dalitz

Eidesstattliche Erklärung

Name: Jakob Görner

Matrikelnr.: 1003660

Titel: Analyse von Pflanzenwachstum auf Basis von 3D-Punktwolken

Ich versichere durch meine Unterschrift, dass die vorliegende Arbeit ausschließlich von mir verfasst wurde. Es wurden keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt.

Die Arbeit besteht aus 12 Seiten.

Mönchengladbach, 7. September 2021

Unterschrift

Zusammenfassung

In dieser Arbeit soll eine Anwendung zum Analysieren von Pflanzen-Wachstum und weiteren Merkmalen des Wachstumsprozesses einer Pflanze erstellt werden. Es soll aus einer Reihe Bilder einer Pflanze, die mit einer gängigen Smartphone-Kamera aufgenommen sind, eine Punktwolke erzeugt werden. Aus der Punktwolke sollen die Punkte die zur Pflanze gehören extrahiert werden um diese weiter zu analysieren. Die extrahierten Punkte werden zur weiteren Analyse in Stamm und Blatt Punkte segmentiert, die dann weiter analysiert werden können. Des weiteren sollen Werte wie das Wachstum der Pflanze ermittelt werden. Hierzu müssen mehrere Punktwolken über Zeit miteinander verglichen werden. Die Anwendung soll mit möglichst wenig Bildern auskommen um den Datentransfer zu minimieren.

Abstract

Development of an application made to analyse plant growth over time and further characteristics of a plant represented as a point cloud. The point cloud should be generated out of a set of images of the plant, taken with a common smartphone. The point cloud should be splitted in leave and stem points to count leaves and analyse the stem further. Also other characteristics as the hight should be analysed. For this reason multiple point clouds has to be analysed over time. The application should need as few pictures as possible to reduce the amount of transfared data.

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	3
2	Stand der Technik	4
2.1	Generierung einer 3D Punktwolke aus Bildern	4
2.2	Segmentierung von 3D Punktwolken	4
2.3	Registrierung von 3D Punktwolken	4
3	Realisierung	6
3.1	Architektur	6
3.2	Umsetzung Generierung einer 3D Punktwolke aus Bildern	6
3.3	Umsetzung Registrierung zweier Punktwolken	7
3.4	Umsetzung Segmentierung	7
3.5	Umsetzung Pipelines und Server	8
4	Ergebnisse	9
4.1	Vergleich von Verfahren zur Generierung von 3D-Punktwolken auf Basis von Bildern	9
4.2	Vergleich von Verfahren zur Registrierung 3D-Punktwolken	9
4.3	Vergleich von Verfahren zur Segmentierung von Pflanzen auf 3D-Punktwolken	9
5	Fazit und Ausblick	11
	Literatur	12

1 Motivation

Diese Arbeit wird im Rahmen eines Projekts mit der Universität xx durchgeführt. Im Rahmen dieser Arbeit soll eine Anwendung entstehen, die in Uganda zum Einsatz kommen soll. Die Anwendung soll mit nicht invasiven Methoden zur Unterstützung bei der selektiven Züchtung eingesetzt werden. Ziel ist es eine Software zu schaffen die es ermöglicht aus Bildern von Pflanzen 3D Punktwolken(Punktwolken) zu generieren und diese zu analysieren. Es soll mit der zu entwickelnden Anwendung möglich sein Aussagen über das Wachstum über Zeit, die Entwicklung der Blätter und der Stämme zu treffen. Mit diesen Daten sind Analysen möglich die auf das Wachstum einer Pflanze unter bestimmten Bedingungen schließen lassen. Hierbei sind besondere Anforderungen an den Prozess der Datengewinnung und Übertragung, dass zum einem der Betrieb kostengünstig ist - das betrifft insbesondere den Endverbraucher, der möglichst wenig Datenmengen an den Server, der die Rechenkapazität bereit stellt übertragen muss. Desweiteren muss die Datengewinnung mit einem Mobiltelefon oder einer anderen Kamera möglich sein. Spezielle Aufnahmeggeräte wie ein LIDAR-Scanner sollten nicht nötig sein.

2 Stand der Technik

Drei Kernprobleme müssen betrachtet werden. Zuerst muss aus einer Menge an Bildern eine Punktwolke generiert werden. Danach muss die Punktwolke segmentiert werden um den Hintergrund zu entfernen und die einzelnen Teile der Pflanze weiter zu analysieren. Zuletzt müssen zwei Punktwolken einer Pflanze zu verschiedenen Zeitpunkten miteinander registriert werden um Aussagen über das Wachstum einer Pflanze treffen zu können.

2.1 Generierung einer 3D Punktwolke aus Bildern

Generell kann man zwischen zwei Methoden der Generierung von Punktwolken unterscheiden, die jeweils verschiedene Verfahren beziehungsweise Techniken anwenden.

Die erste Methode nutzt Hardware wie LIDAR-Scanner um Punktwolken direkt zu erzeugen. Es gibt eine Reihe von Sensoren die das ermöglichen. Da der Großteil der Sensoren aus kostengründen nicht in Frage kommt sei hier nur noch der RGB-D erwähnt. Dieser liefert neben den Farbwerten für ein Bild auch noch eine Tiefeninformation für jeden Pixel. In einigen Smartphone-Modellen wird bereits ein solcher Sensor verbaut.

Die andere Methode ist die Photogeometrie, bei der die Punktwolke aus Bildern, einer Szene aus verschiedenen Perspektiven, generiert wird. Eine der bekanntesten Algorithmen ist SIFT [?]. Einige Verfahren benötigen genaue Informationen über die Kamera Position, Ausrichtung und andere Angaben wie die Brennweite der Linse etc. andere wiederum lesen diese Informationen aus den Bildern direkt aus oder schätzen diese.

Es wurden in den letzten Jahren auch NN entwickelt, die darauf trainiert wurden aus einem Bild eine 3D Punktwolke zu generieren.

2.2 Segmentierung von 3D Punktwolken

Bei der Analyse von Pflanzen in Form von 3D Punktwolken gibt es einige nicht gelernte Lösungen [1] [2] die das Segmentieren von 3D Punktwolken von Pflanzen in Stiele und Blätter behandeln, viele dieser Ansätze haben aber das Problem, dass sie nur unter Laborbedingungen gute Ergebnisse liefern. Insbesondere die hohe Qualität der Punktwolken die meist mit einem LIDAR-Scanner oder einem vergleichbaren Gerät erzielt wird, kann mit bildbasierten Methoden nicht oder nur mit sehr großen Datenmengen erreicht werden. Ein weiteres Problem das viele Lösungen haben ist, dass der Hintergrund manuell entfernt wird und erst auf der freigestellten Pflanze der eigentliche Ansatz ausgeführt wird. Um diese Lösungen dennoch in einer voll automatischen Pipeline nutzen zu können muss das Freistellen der Pflanzen erst automatisiert werden. Es gibt weitere Lösungen, basierend auf Neuronalen Netzen, die mit einer angelernten Netzarchitektur bestimmte Objekte erkennen und Teile davon segmentieren. Diese Ansätze können auch auf Pflanzen angewandt werden. Dazu müssen die Architekturen auf Punktwolken von Pflanzen trainiert werden.

2.3 Registrierung von 3D Punktwolken

Die am weitesten verbreitete Method zur Registrierung von 3D Punktwolken ist Iterative Closest Points (ICP). ICP basiert auf dem Ansatz das zwei Punktwolken iterativ aneinander angenähert

werden und bei jeder Iteration der Abstand minimiert wird. Die meisten Implementierungen von ICP beachten aber nicht die Skalierung der Punktwolken. Es gibt einige wenige Ansätze für dieses Problem. Ein weiteres Problem bei ICP ist, dass es in lokalen Minima Lösungen finden kann. Daher muss eine gute Initiale Transformation gefunden werden. Dieses Problem kann durch globale ICP gelöst werden. Hierbei wird der zu durchsuchende Suchraum $SO(3)$ mittels Branch & Bound Verfahren durchsucht. Auch für das Registrierung-Problem gibt es Lösungen die auf Neuronal Netzen basieren, aber auch hier gibt es das Problem, dass es nur wenige Ansätze gibt die mit Skalierung umgehen können.

3 Realisierung

Es müssen vier Teilprobleme berücksichtigt werden. Zu Beginn muss aus einer Reihe Bilder eine Punktwolke generiert werden. Hauptziel hierbei ist es möglichst wenig Bilder zu benötigen. Trotzdem müssen Aspekte wie die Qualität der Punktwolken berücksichtigt werden.

Ein zweites Problem ist die Registrierung zweier Punktwolken einer Pflanze zu verschiedenen Zeitpunkten um diese Vergleichen zu können. Hierbei gilt es die ideale Transformation T bestehend aus Rotation, Skalierung und Translation zu finden um die beiden Punktwolken so realitätsnah wie möglich aneinander aus zu richten. Es werden drei Ansätze überprüft dieses Problem zu lösen. Der erste Ansatz basiert auf der Idee, beim Beginn einer neuen Zeitserie zur Analyse eines Wachstumsprozesses, eine Punktwolke des Hintergrunds zu erstellen und die Punktwolken der einzelnen Zeitpunkte mit diesem Hintergrund zu registrieren. So wird ein Verhältnis geschaffen das dem der Realität entspricht. Der zweite Ansatz basiert darauf das die Registrierung direkt zwischen zwei Zeitpunkten erfolgt. Hierbei kann es zu Abweichungen von der Realität kommen, wenn die Pflanzen skaliert werden müssen für die Registrierung. Der letzte Ansatz soll überprüfen ob es mittels eines platziertem Objekts möglich ist die Skalierung der Punktwolke zu ermitteln und so das Problem beim direkten Vergleich zweier Szenen lösen soll.

Das dritte Problem ist die Segmentierung der Punktwolke in Stamm, Blätter und Hintergrund. Hier gibt es viele Ansätze dieses Problem zu lösen. Allerdings ist es schwer eine allgemein gültigen Lösung zu finden. Ziel ist es daher eine Lösung zu finden die auf möglichst vielen Varianten von Pflanzen funktioniert. Das Problem der Segmentierung ist essentiell für die weitere Analyse einer Zeitserien. Ohne die Information welche Punkte zu Stamm und Blättern gehören kann nicht auf die Entwicklung von Blättern und Stielen geschlossen werden.

Zuletzt müssen aus die bisherigen Problemen in geeignete Pipelines zusammengefasst werden und durch einen Server angesteuert werden. Hier muss die Lastverteilung und Datenhaltung beachtet werden.

3.1 Architektur

Die Anwendung soll über eine REST-API angesteuert werden können. Es soll möglich sein eine neue Messreihe anzulegen. Dazu müssen die Bilder für die initiale Punktwolke auf den Server übertragen werden. Es soll möglich sein weitere Messpunkte zu einer Messreihe hinzuzufügen. Zu einer Messreihe sollen Auswertungen zur Verfügung gestellt werden. Zu jeder Messreihe soll ein Bearbeitungs-Status abgerufen werden können, da die einzelnen Pipelines asynchrone im Hintergrund ausgeführt werden sollen.

3.2 Umsetzung Generierung einer 3D Punktwolke aus Bildern

Die aus der Analyse der verschiedenen Verfahren (siehe Evaluation) ausgewählte Anwendung ODM wird als Docker bereit gestellt. Um den Docker aus zu führen muss eine Ordner-Struktur erstellt werden. In dieser Ordner-Struktur muss ein Ordner images enthalten sein, der die Bilder des Datensatzes, aus dem eine Punktwolke generiert werden soll, enthält.

Ist das Verzeichnis angelegt kann der Docker gestartet werden. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass der Docker mit den selben Rechten wie der User arbeitet. Ansonsten werden

per Standarteinstellung Root-Rechte genutzt. Das führt dazu das auf die erstellten Daten kein Zugriff mehr existiert, was das Aufräumen erschwert.

3.3 Umsetzung Registrierung zweier Punktwolken

Es wurden mehrere Verfahren und Implementierungen mit einander verglichen. Es wurde versucht ein Pipeline zu erstellen die eine gute Initiale Lösung findet ohne den ganzen Suchraum $SO(3)$ zu durchsuchen. Die Pipeline sucht nach einer Ebene in der Punktwolke und richtet die Punktwolke so aus, dass die Ebene auf der Ebene liegt, die die x und y Achse bilden. Danach werden einige wiederholte ICP Schritte und andere Registrierungsmethoden angewandt.

Ein weiterer Ansatz war es DCP so abzuwandeln das statt Translations-Vektor und Rotations-Matrix direkt die ganze Transformations-Matrix geschätzt wird. Dazu muss nur SVD-Head angepasst werden und bei der Eingabe eine weitere Dimension hinzugefügt werden. Wenn man nun die Singulärwert-Zerlegung von H das nun 4×4 groß ist also die richtige Dimension hat weg lässt, kann man H als schätzung für die Transformation interpretieren.

Eine weitere Version die ICP nutzt ist es einen gewissen Bereich an Skalierungen zu durchlaufen und für jede Skalierung werden die beiden Punktwolken via ICP miteinander registriert. Wurden alle Skalierungen getestet wird die mit dem besten Ergebnis übernommen.

3.4 Umsetzung Segmentierung

Zur Segmentierung der Pflanzen-Punktwolke in Stamm und Blätter wurde ein Ansatz verfolgt, der mittels der Hauptkrümmung eines Punktes ermitteln soll ob es sich um ein Blatt oder einen Stiel handelt. Hierbei wird eine einfache Entscheidungsregel $f(x)$ mittels eines Schwellwerts T_k genutzt: Ist die Stärke der Krümmung $k(x)$ des Punktes höher als der Schwellwert handelt es sich um einen Stiel da diese eine größere Krümmung haben als Blätter. Die Schwierigkeit ist es einen guten Schwellwert und eine gute Kennzahl für die Stärke der Krümmung zu finden.

$$k(x) = \text{?????} \quad (1)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 & k(x) \geq T_k \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (2)$$

In einem weiteren Ansatz wurde eine Implementierung von PointNet auf einem Datensatz von Pflanzen-Punktwolken trainiert um so einen geeigneten Classifier zu trainieren. Der Classifier soll für jeden Punkt einer Punktwolke bestehend aus Position und Normalen eine Schätzung liefern was der Punkt repräsentiert. Mögliche Repräsentationen können Stamm, Blatt oder Hintergrund sein. Weitere denkbare Repräsentationen können die Früchte und Blüten der Pflanzen sein. Wird die Farbe der Punktwolke mit einbezogen, können auch Krankheitsbilder wie vertrocknende Blätter in die Repräsentation eingeschlossen werden. Da die Ergebnisse für PointNet nicht gut genug waren wurde eine verbesserte Version PointNet++ auf dem Datensatz trainiert. Diese wurde mit und ohne Normalen, mit 2 Labeln ohne Hintergrund und mit 3 Labeln mit Hintergrund trainiert.

Nach der Segmentierung wird das Ergebnis noch einmal überarbeitet. Für jedem Punkt i werden die k ($k = 10$) nächsten Nachbarn N_i bestimmt und aus deren Repräsentationens-Schätzungen ein Histogramm H_i erzeugt. Die Schätzung mit dem höchsten Histogramm-Wert wird als neue Schätzung s_i für den Punkt genutzt. Dieser Vorgang wird für alle Punkte solange wiederholt bis es bei den Punkten zu keinen Änderungen mehr kommt oder eine maximale Iterations-Obergrenze erreicht wurde.

$$\begin{aligned}
L &= \{0, 1, 2\} \\
H_i(x) &= \sum_{j=0}^k (1 | N_i(j) = x) \\
x &\in L \\
s_i &= \operatorname{argmax}_x (H_i(x))
\end{aligned} \tag{3}$$

3.5 Umsetzung Pipelines und Server

Der Server ist mit dem Python-Framework Flask erstellt. Flask bietet eine Schlanke API um neue Endpunkte zu erstellen und Daten vom Client anzunehmen.

Ein Hintergrund-Prozess führt die einzelnen Jobs aus und sorgt für den Lastausgleich. Die Anfragen an den Server werden asynchron verarbeitet. Jede Anfrage wird in die Job-Queue eingeordnet. Diese wird vom Hintergrund-Prozess abgearbeitet. Einzige Ausnahme bildet hier das Speichern der Bilder. Die Bilder müssen synchrone zum Request auf der Platte persistiert werden, da Flask die Datei-Streams nach dem Lebenszyklus eines Requests schließt.

Neben dem Hintergrund-Prozess wird auch der aktuelle Stand der Datenhaltung eingelesen und der Status des Servers aufgebaut. Des weiteren werden zwei Instanzen von PointNet++ gestartet. Eine für die Hintergrundsegmentierung und einer für die Blatt/Stiel-Erkennung.

4 Ergebnisse

4.1 Vergleich von Verfahren zur Generierung von 3D-Punktwolken auf Basis von Bildern

Um eine geeignete Software zur Generierung von 3D-Punktwolken auszuwählen muss erst entschieden werden nach welchen Gütekriterien verschiedene Anwendungen betrachtet werden sollen und wie wichtig diese sind. Bei dieser Arbeit ist die nötige Anzahl der Bilder die zur Generierung einer Punktwolke mit genug Information nötig sind das wichtigste Kriterium. Um dieses Kriterium zu messen muss ein Goldstandart von der fotografierten Szene als 3D-Punktwolke erstellt werden, mit dem Verglichen werden kann. Dieser Goldstandart kann erstellt werden, indem alle Fotografien genutzt werden die zur Verfügung stehen und damit alle Verfahren eine Punktwolke erstellen zu lassen. Unter den erstellten Punktwolken kann die ausgesucht werden die die Szene am besten repräsentiert. Das trifft auf die Punktwolke zu die den höchsten Detail-Grad hat und möglichst wenig Fehler, wie fehlende Teile der Szene oder Rauschen enthält. Die so erstellte Szene sollte nachbearbeitet werden um etwaige Fehler wie Rauschen manuell zu entfernen. Weitere Maße um die Güte des Goldstandarts zu bewerten ist die Anzahl der Punkte in der Wolke oder die Dichte der Punkte in der normalisierten Punktwolke.

Nun kann mit weniger Bildern aus dem selben Datensatz ein weitere Punktwolke generiert werden und die Distanz der Punkte der Goldstandart-Punktwolke zum jeweils nächsten Punkt der erstellten Punktwolke gemessen werden. Die Summe dieser Abstände kann als Fehlermaß genutzt werden. Bei der Berechnung der Abstände muss beachtet werden, dass die Punktwolken mit dem Goldstandart registriert ist.

Ein weiterer Punkt bei der Bewertung des Verfahrens zur Generierung von 3D Punktwolken ist die Zeit die benötigt wird die Punktwolke zu generieren.

4.2 Vergleich von Verfahren zur Registrierung 3D-Punktwolken

Vergleich DCP / PointNetLK

Verleich NN / ICP

4.3 Vergleich von Verfahren zur Segmentierung von Pflanzen auf 3D-Punktwolken

Vergleich Training mit/ohne Hintergrund Mit Hintergrund -¿ lohnt es sich nur das Zentrum zu betrachten?

Vergleich Training mit/ohne Normalen

Vergleich Training mit/ohne Normalisierung (Einsatz von nicht normalisierten Punkten trotz Normalisierung im Training möglich?)

Evaluations-Ergebnisse auf nicht normalisierten Daten für Training (t5) mit normalisiertem Datensatz:

eval mean loss: 0.174850

eval accuracy: 0.945604

eval avg class acc: 0.784519

eval mIoU of Plant: 0.683556

eval mean mIoU: 0.683556

eval mean mIoU (all shapes): 0.683556

Evaluations-Ergebnisse auf normalisierten Daten für Training (t5) mit normalisiertem Datensatz:

eval mean loss: 0.038411

eval accuracy: 0.985966

eval avg class acc: 0.949488

eval mIoU of Plant: 0.840759

eval mean mIoU: 0.840759

eval mean mIoU (all shapes): 0.840759

Erkenntnis das PointNet++ anfällig für die Ausrichtung von Punktwolken ist.

5 Fazit und Ausblick

Problem bei Registrierung mit unterschiedlich skalierten Punktwolken. Lösung Nutzung von GEO-Koordinaten bei der Generierung der Punktwolken oder ScaleLK?

Literatur

- [1] I. Ziamtsov and S. Navlakha, “Machine Learning Approaches to Improve Three Basic Plant Phenotyping Tasks Using Three-Dimensional Point Clouds1[OPEN],” *Plant Physiology*, vol. 181, pp. 1425–1440, 10 2019.
- [2] D. Li, Y. Cao, G. Shi, X. Cai, Y. Chen, S. Wang, and S. Yan, “An overlapping-free leaf segmentation method for plant point clouds,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129054–129070, 2019.