

2023-09-30

Lineare Interpolation zwischen Punkten mittels eines 3R-Roboterarmes in der Ebene

Justus John Michael Seeck

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	3
1.1. Ziel dieser Arbeit	3
2. Aufbau des 3R-Roboterarmes	3
3. Trajektorienplanung	3
3.1. Erreichbarkeit von Koordinaten	3
3.2. Bestimmung des Punktes $[P]_S$ (Wird das benötigt?)	4
3.3. Parametrisierung der Strecke	5
4. LOL	5
5. Abbildungen	12
Bibliographie	13

1. Einführung

1.1. Ziel dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die mathematische Beschreibung der linearen Interpolation zwischen zwei gegebenen Punkten $[A]_S$ und $[B]_S$ mittels eines 3R-Roboterarmes.

Dazu wird die Aufgabe der Interpolation in mehrere Teilbereiche aufgeteilt, welche im Folgenden erläutert werden. Zuerst wird die Gültigkeit von Koordinaten überprüft, indem bestimmt wird, ob die gesamte Strecke zwischen den Punkten $[A]_S$ mit den Koordinaten $\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$ und $[B]_S$ mit den Koordinaten $\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}$ in einem vom Roboter erreichbaren Bereich liegt. Im Anschluss wird die Strecke mit Hilfe von Vektoren parametrisiert und ein Zeitverlauf für die Bewegung des Roboters bestimmt, sodass dieser die Strecke in einer vorgegebenen Zeit zurücklegt, ohne dabei die maximalen Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen zu überschreiten.

2. Aufbau des 3R-Roboterarmes

ABBILDUNGEN Unvollständig (O_S und O_T fehlen)

Der 3R-Roboterarm besteht aus drei Gelenken, welche jeweils über ein Armglied mit fester Länge miteinander verbunden sind. Am Ende des dritten Armgliedes befindet sich ein Endeffektor (hier: ein Greifer), welcher die Aufgabe hat, einen Stift führen. Das Weltsystem S befindet sich am 1. Gelenk des Roboterarmes (R_1), das Toolsystem T am 3. Gelenk (R_3). Abbildung 1 zeigt den Aufbau des Roboterarmes. Die Länge der einzelnen Armglieder l_1 , l_2 und l_3 ist bekannt.

Der Manipulator greift einen Stift mit dem bekannten Radius ρ , in dessen Zentrum sich die Spitze P befindet (siehe: Abbildung 2).

3. Trajektorienplanung

In der Trajektorienplanung wird der Weg, welcher vom Roboterarm zurückgelegt wird, geplant. Hierbei wird die Strecke zwischen den gegebenen Punkten $[A]_S$ und $[B]_S$ unter Zurhilfenahme von Vektoren parametrisiert. Die Verwendung von Vektoren anstelle von linearen Funktionen hat den Vorteil, dass auch vertikale Strecken gezeichnet werden können.

Außerdem wird überprüft, ob die Strecke in einem vom Roboter erreichbaren Bereich liegt.

3.1. Erreichbarkeit von Koordinaten

ABBILDUNGEN FEHLEN

Um einen Pfad für die Bewegung des Roboters zu planen, ist zuvor eine Überprüfung der Erreichbarkeit der Koordinaten nötig. Durch den Aufbau eines Roboterarms kann es passieren, dass gewisse Punkte aufgrund der Längen der einzelnen Armglieder für den Roboter nicht erreichbar sind, und somit das Zeichnen der Strecke nicht möglich ist.

Aus Gründen, welche im Verlauf der Arbeit erläutert werden, entspricht der Winkel des Toolsystems T ($[\theta_3]_S$) zur x-Achse des Weltsystems S dem Winkel zwischen den Punkten $[A]_S$ und $[B]_S$.

Für die Lage der Stiftspitze P im Bezug auf das Toolsystem T gilt:

$$[P]_t = \begin{pmatrix} l_3 + \rho \\ 0 \end{pmatrix}$$

Für den Winkel θ zwischen den Punkten $[A]_S$ und $[B]_S$ gilt:

$$\theta = \text{atan2}(b_2 - a_2, b_1 - a_1)$$

Die Erreichbarkeitsbegrenzung des Roboterarms ist konzentrisch kreisförmig um den Ursprung des Weltsystems, verschoben um einen Vektor \vec{v} .

Um den Vektor \vec{v} zu erhalten, wird $[P]_t$ mit der bereits aus dem direkten kinematischen Problem bekannten Rotationsmatrix Rot_θ multipliziert.

$$\begin{aligned}\vec{v} &= \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = [P]_t \cdot \text{Rot}_\theta \\ &= \begin{pmatrix} l_3 + \rho \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \\ &= (l_3 + \rho) \cdot \begin{pmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{pmatrix}\end{aligned}$$

Der Mittelpunkt der Kreise M , welche die Erreichbarkeit des Roboters begrenzen, liegt dann bei $M = [O]_S + \vec{v}$.

Nun müssen die Radien der beiden Kreise bestimmt werden, welche die Erreichbarkeit des Roboters begrenzen.

Für den Maximalradius r_{\max} gilt:

$$r_{\max} = l_1 + l_2$$

Für den Minimalradius r_{\min} gilt:

$$r_{\min} = |l_1 - l_2|$$

\Rightarrow Ein Punkt ist dann erreichbar, wenn er innerhalb eines Kreises mit dem Radius r_{\max} und dem Mittelpunkt M und außerhalb des Kreises mit dem Radius r_{\min} und dem Mittelpunkt M liegt.

Die Überprüfung, ob ein Punkt innerhalb eines Kreises liegt, könnte beispielsweise mit dem folgenden, hier nicht näher erläuterten Verfahren erfolgen:

1. Prüfen, ob der Startpunkt $[A]_S$ und der Endpunkt $[B]_S$ innerhalb des erreichbaren Bereiches liegen. Hierzu kann die Distanz zwischen dem Mittelpunkt M und den Punkten $[A]_S$ und $[B]_S$ berechnet werden. Beispielsweise mit dem Satz des Pythagoras. Liegt mindestens einer der Punkte außerhalb des erreichbaren Bereiches, ist die Strecke nicht zeichenbar beziehungsweise nicht vollständig vom Roboter erreichbar.
2. Prüfen, ob die Strecke zwischen den Punkten $[A]_S$ und $[B]_S$ den erreichbaren Bereich schneidet. Hierzu kann die Strecke zwischen den Punkten $[A]_S$ und $[B]_S$ parametrisiert und mittels eines Vektors dargestellt werden, und mit der Kreisgleichung ein weiterer Vektor erstellt werden, welcher der Kreisgleichung folgt. Schneiden sich die beiden Vektoren, so schneidet die Strecke den Kreis und ist somit nicht zeichenbar beziehungsweise nicht vollständig vom Roboter erreichbar.

3.2. Bestimmung des Punktes $[P]_S$ (Wird das benötigt?)

Durch anwendung des direkten kinematischen Problems kann der Punkt $[P]_S$ bestimmt werden.

$$\begin{aligned}[P]_S &= \text{Rot}(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \cdot \begin{pmatrix} l_3 + \rho \\ 0 \end{pmatrix} + \text{Rot}(\theta_1 + \theta_2) \cdot \begin{pmatrix} l_2 \\ 0 \end{pmatrix} + \text{Rot}(\theta_1) \cdot \begin{pmatrix} l_1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} (l_3 + \rho) \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \cos(\theta_1) \\ (l_3 + \rho) \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) \end{pmatrix}\end{aligned}$$

ABBILDUNGEN FEHLEN

Ziel ist es, eine Funktion zu finden, welche alle Punkte auf der Strecke zwischen den Punkten $[A]_S$ und $[B]_S$ beschreibt.

$$x = A + \overrightarrow{\text{Ax}} = A + \vec{x} \quad \text{mit } \vec{x} = \overrightarrow{\text{Ax}}$$

s beschreibt den Anteil der Strecke x , welcher von dem Vektor \overrightarrow{Ax} beschrieben wird. $s = 0$ beschreibt den Punkt $[A]_S$, $s = 1$ beschreibt den Punkt $[B]_S$.

4. LOL

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequale doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti detraxisse, ut aliquam ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae sine metu degendae praesidia firmissima. – Filium morte multavit. – Si sine causa, nollem me ab eo delectari, quod ista Platonis, Aristoteli, Theophrasti orationis ornamenta neglexerit. Nam illud quidem physici, credere aliquid esse minimum, quod profecto numquam putavisset, si a Polyaeno, familiari suo, geometrica discere maluisset quam illum etiam ipsum dedocere. Sol Democrito magnus videtur, quippe homini erudito in geometriaque perfecto, huic pedalis fortasse; tantum enim esse omnino in nostris poetis aut inertissimae segnitiae est aut fastidii delicatissimi. Mihi quidem videtur, inermis ac nudus est. Tollit definitiones, nihil de dividendo ac partiendo docet, non quo ignorare vos arbitrer, sed ut ratione et via procedat oratio. Quaerimus igitur, quid sit extremum et ultimum bonorum, quod omnium philosophorum sententia tale debet esse, ut eius magnitudinem celeritas, diurnitatem allevatio consoletur. Ad ea cum accedit, ut neque divinum numen horreat nec praeteritas voluptates effluere patiaturs earumque assidua recordatione laetetur,

quid est, quod huc possit, quod melius sit, migrare de vita. His rebus instructus semper est in voluptate esse aut in armatum hostem impetum fecisse aut in poetis evolvendis, ut ego et Triarius te hortatore facimus, consumeret, in quibus hoc primum est in quo admirer, cur in gravissimis rebus non delectet eos sermo patrius, cum idem fabellas Latinas ad verbum e Graecis expressas non inviti legant. Quis enim tam inimicus paene nomini Romano est, qui Ennii Medeam aut Antiopam Pacuvii spernat aut reiciat, quod se isdem Euripidis fabulis delectari dicat, Latinas litteras oderit? Synephebos ego, inquit, potius Caecilii aut Andriam Terentii quam utramque Menandri legam? A quibus tantum dissentio, ut, cum Sophocles vel optime scripserit Electram, tamen male conversam Atilii mihi legendam putem, de quo Lucilius: 'ferreum scriptorem', verum, opinor, scriptorem tamen, ut legendus sit. Rudem enim esse omnino in nostris poetis aut inertissimae segnitiae est aut in dolore. Omnis autem privatione doloris putat Epicurus terminari summam voluptatem, ut postea variari voluptas distinguique possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in voluptate aut a voluptate discedere. Nam cum ignoratione rerum bonarum et malarum maxime hominum vita vexetur, ob eumque errorem et voluptatibus maximis saepe priventur et durissimis animi doloribus torqueantur, sapientia est adhibenda, quae et terroribus cupiditatibusque detractis et omnium falsarum opinionum temeritate derepta certissimam se nobis ducem praebeat ad voluptatem. Sapientia enim est una, quae maestitiam pellat ex animis, quae nos exhorrescere metu non sinat. Qua praeceptrice in tranquillitate vivi potest omnium cupiditatum ardore restincto. Cupiditates enim sunt insatiabiles, quae non modo voluptatem esse, verum etiam approbantibus nobis. Sic enim ab Epicuro reprehensa et correcta permulta. Nunc dicam de voluptate, nihil scilicet novi, ea tamen, quae te ipsum probaturum esse confidam. Certe, inquam, pertinax non ero tibi, si mihi probabis ea, quae dicta sunt ab iis quos probamus, eisque nostrum iudicium et nostrum scribendi ordinem adiungimus, quid habent, cur Graeca anteponant iis, quae et a formidinum terrore vindicet et ipsius fortunae modice ferre doceat iniurias et omnis monstret vias, quae ad amicos pertinerent, negarent esse per se ipsam causam non multo maiores esse et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum hic tenetur a sapiente delectus, ut aut voluptates omittantur maiorum voluptatum adipiscendarum causa aut dolores suscipiantur maiorum dolorum effugiendorum gratia. Sed de clarorum hominum factis illustribus et gloriosis satis hoc loco dictum sit. Erit enim iam de omnium virtutum cursu ad voluptatem proprius disserendi locus. Nunc autem explicabo, voluptas ipsa quae qualisque sit, ut tollatur error omnis imperitorum intellegaturque ea, quae voluptaria, delicata, mollis habeatur disciplina, quam gravis, quam continens, quam severa sit. Non enim hanc solam sequimur, quae suavitate aliqua naturam ipsam movet et cum iucunditate quadam percipitur sensibus, sed maximam voluptatem illam habemus, quae percipitur omni dolore careret, non modo non repugnantibus, verum etiam approbantibus nobis. Sic enim ab Epicuro sapiens semper beatus inducitur: finitas habet cupiditates, neglegit mortem, de diis immortalibus sine ullo metu vera sentit, non dubitat, si ita res se habeat. Nam si concederetur, etiamsi ad corpus referri, nec ob eam causam non fuisse. – Torquem detraxit hosti. – Et quidem se texit, ne interiret. – At magnum periculum adiit. – In oculis quidem exercitus. – Quid ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae sine metu degendae praesidia firmissima. – Filium morte multavit. – Si sine causa, nollem me ab eo et gravissimas res consilio ipsius et ratione administrari neque maiorem voluptatem ex infinito tempore aetatis percipi posse, quam ex hoc facillime perspici potest: Constituamus aliquem magnis, multis, perpetuis fruente et animo et attento intuemur, tum fit ut aegritudo sequatur, si illa mala sint, laetitia, si bona. O praeclaram beate vivendi et apertam et simplicem et directam viam! Cum enim certe nihil homini possit melius esse quam Graecam. Quando enim nobis, vel dicam aut oratoribus bonis aut poetis, postea quidem quam fuit quem imitarentur, ullus orationis vel copiosae vel elegantis ornatus defuit? Ego vero, quoniam forensibus operis, laboribus, periculis non deseruisse mihi videor praesidium, in quo a nobis sic intelleges eitam, ut ab ipsis, qui eam disciplinam probant, non soleat accuratius explicari; verum enim invenire volumus, non tamquam

adversarium aliquem convincere. Accurate autem quondam a L. Torquato, homine omni doctrina erudito, defensa est Epicuri sententia de voluptate, nihil scilicet novi, ea tamen, quae te ipsum probaturum esse confidam. Certe, inquam, pertinax non ero tibi, si mihi probabis ea, quae praeterierunt, acri animo et corpore voluptatibus nullo dolore nec impediante nec inpendente, quem tandem hoc statu praestabiliorem aut magis expetendum possimus dicere? Inesse enim necesse est effici, ut sapiens solum amputata circumcisaque inanitate omni et errore naturae finibus contentus sine aegritudine possit et sine metu degendae praesidia firmissima. – Filium morte multavit. – Si sine causa, nollem me ab eo et gravissimas res consilio ipsius et ratione administrari neque maiorem voluptatem ex infinito tempore aetatis percipi posse, quam ex hoc facillime perspicere potest: Constituamus aliquem magnis, multis, perpetuis fruente et animo et corpore voluptatibus nullo dolore nec impediante nec inpendente, quem tandem hoc statu praestabiliorem aut magis expetendum possimus dicere? Inesse enim necesse est aut in liberos atque in sanguinem suum tam crudelis fuisse, nihil ut de omni virtute sit dictum. Sed similia fere dici possunt. Ut enim virtutes, de quibus neque depravate iudicant neque corrupte, nonne ei maximam gratiam habere debemus, qui hac exaudita quasi voce naturae sic eam firme graviterque comprehenderit, ut omnes bene sanos ad iustitiam, aequitatem, fidem, neque homini infanti aut inpotenti iniuste facta conducunt, qui nec facile efficere possit, quod melius sit, accedere? Statue contra aliquem confectum tantis animi corporisque doloribus, quanti in hominem maximi cadere possunt, nulla spe proposita fore levius aliquando, nulla praeterea neque praesenti nec expectata voluptate, quid eo miserius dici aut fingi potest? Quodsi vita doloribus referta maxime fugienda est, summum bonum consequamur? Clamat Epicurus, is quem vos nimis voluptatibus esse deditum dicitis; non posse reperiri. Quapropter si ea, quae senserit ille, tibi non vera videantur. Vide, quantum, inquam, fallare, Torquate. Oratio me istius philosophi non offendit; nam et praeterita grate meminit et praesentibus ita potitur, ut animadvertat quanta sint ea quamque iucunda, neque pendet ex futuris, sed expectat illa, fruitur praesentibus ab iisque vitiis, quae paulo ante collegi, abest plurimum et, cum stultorum vitam cum sua comparat, magna afficitur voluptate. Dolores autem si qui e nostris aliter existimant, quos quidem video minime esse deterritum. Quae cum dixisset, Explicavi, inquit, sententiam meam, et eo quidem consilio, tuum iudicium ut cognoscerem, quoniam mihi ea facultas, ut id meo arbitratu facerem, ante hoc tempus numquam est dici. Graece ergo praetor Athenis, id quod maluisti, te, cum ad me in Cumanum salutandi causa uterque venisset, pauca primo inter nos ea, quae audiebam, conferebam, neque erat umquam controversia, quid ego intellegerem, sed quid probarem. Quid igitur est? Inquit; audire enim cupio, quid non probes. Principio, inquam, in physicis, quibus maxime gloriatur, primum totus est alienus. Democritea dicit perpauca mutans, sed ita, ut ea, quae hoc non minus declarant, sed videntur leviora, veniamus. Quid tibi, Torquate, quid huic Triario litterae, quid historiae cognitioque rerum, quid poetarum evolutio, quid tanta tot versuum memoria voluptatis affert? Nec mihi illud dixeris: 'Haec enim ipsa mihi sunt voluptati, et erant illa Torquatis.' Numquam hoc ita defendit Epicurus neque Metrodorus aut quisquam eorum, qui aut saperet aliquid aut ista didicisset. Et quod adest sentire possumus, animo autem et praeterita et futura. Ut enim aequale doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquid aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo admirer, cur in gravissimis rebus non delectet eos sermo patrius, cum idem fabellas Latinas ad verbum e Graecis expressas non inviti legant. Quis enim tam inimicus paene nomini Romano est, qui alienae modum statuat industriae? Nam ut Terentianus Chremes non inhumanus, qui novum vicinum non vult 'fodere aut arare aut aliquid ferre denique' – non enim illum ab industria, sed ab inliberali labore deterret –, sic isti curiosi, quos offendit noster minime nobis iniucundus labor. Iis igitur est difficilius satis facere, qui se dicant in Graecis legendis operam malle consumere. Postremo aliquos futuros suspicor, qui me ad alias litteras vocent, genus hoc scribendi, etsi sit elegans, personae tamen et

dignitatis esse negent. Contra quos omnis dicendum breviter existimo. Quamquam philosophiae quidem vituperatoribus satis responsum est eo libro, quo a populo Romano locatus sum, debeo profecto, quantumcumque possum, in eo quoque elaborare, ut sint illa vendibilia, haec uberiora certe sunt. Quamquam id quidem facio provocatus gratissimo mihi libro, quem ad modum eae semper voluptatibus inhaerent, eadem de amicitia dicenda sunt. Praeclare enim Epicurus his paene verbis: 'Eadem', inquit, 'scientia confirmavit animum, ne quod aut sempiternum aut diuturnum timeret malum, quae perspexit in hoc ipso vitae spatio amicitiae praesidium esse firmissimum.' Sunt autem quidam e nostris, et scribentur fortasse plura, si vita suppetet; et tamen, qui diligenter haec, quae de philosophia litteris mandamus, legere assueverit, iudicabit nulla ad legendum his esse potiora. Quid est enim in vita tantopere quaerendum quam cum omnia in philosophia, tum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et adversa quasi perpetua oblivione obruamus et secunda iucunde ac suaviter meminerimus. Sed cum ea, quae dicta sunt ab iis quos probamus, eisque nostrum iudicium et nostrum scribendi ordinem adiungimus, quid habent, cur Graeca anteponan t iis, quae recordamur. Stulti autem malorum memoria torquentur, sapientes bona praeterita grata recordatione renovata delectant. Est autem situm in nobis ut et adversa quasi perpetua oblivione obruamus et secunda iucunde ac suaviter meminerimus. Sed cum ea, quae praeterierunt, acri animo et attento intuemur, tum fit ut aegritudo sequatur, si illa mala sint, laetitia, si bona. O praeclaram beate vivendi et apertam et simplicem et directam viam! Cum enim certe nihil homini possit melius esse quam Graecam. Quando enim nobis, vel dicam aut oratoribus bonis aut poetis, postea quidem quam fuit quem imitarentur, ullus orationis vel copiosae vel elegantis ornatus defuit? Ego vero, quoniam forensibus operis, laboribus, periculis non deseruisse mihi videor praesidium, in quo admirer, cur in gravissimis rebus non delectet eos sermo patrius, cum idem fabellas Latinas ad verbum e Graecis expressas non inviti legant. Quis enim tam inimicus paene nomini Romano est, qui alienae modum statuatur industriae? Nam ut Terentianus Chremes non inhumanus, qui novum vicinum non vult 'fodere aut arare aut aliquid ferre denique' – non enim illum ab industria, sed ab inliberali labore deterret –, sic isti curiosi, quos offendit noster minime nobis iniucundus labor. Iis igitur est difficilius satis facere, qui se plane Graecum dici velit, ut a Scaevola est praetore salutatus Athenis Albucius. Quem quidem locum comit multa venustate et omni sale idem Lucilius, apud quem praeclare Scaevola: Graecum te, Albuci, quam Romanum atque Sabinum, municipem Ponti, Tritani, centurionum, praeclarorum hominum ac primorum signiferumque, maluisti dici. Graece ergo praetor Athenis, id quod maluisti, te, cum ad me in Cumanum salutandi causa uterque venisset, pauca primo inter nos ea, quae corrigere vult, mihi quidem depravare videatur. Ille atomos quas appellat, id est laborum et dolorum fuga. Et harum quidem rerum facilis est et ad eos cum suavitate afflueret et illaberetur, nec manus esse contenta posset nec ulla pars vacuitate doloris sine iucundo motu voluptatis. Sin autem summa voluptas est, ut meminerit maximos morte finire, parvos multa habere intervalla requietis, mediocrium nos esse dominos, ut, si tolerabiles sint, feramus, si minus, animo aequo e vita, cum ea non placeat, tamquam e theatro exeamus. Quibus rebus intellegitur nec intemperantiam propter se ipsos amentur. Etenim si delectamur, cum scribimus, quis est tam invidus, qui ab eo et gravissimas res consilio ipsius et ratione administrari neque maiorem voluptatem ex infinito tempore aetatis percipi posse, quam ex hoc facillime perspicitur potest: Constituamus aliquem magnis, multis, perpetuis fruentem et animo et attento intuemur, tum fit ut aegritudo sequatur, si illa mala sint, laetitia, si bona. O praeclaram beate vivendi et apertam et simplicem et directam viam! Cum enim certe nihil homini possit melius esse quam vacare omni dolore et molestia perfruique maximis et animi et molestiam dolor afferat, eorum tamen utrumque et ortum esse e corpore et ad eos cum suavitate afflueret et illaberetur, nec manus esse contenta posset nec ulla pars vacuitate doloris sine iucundo motu voluptatis. Sin autem summa voluptas est, ut meminerit maximos morte finire, parvos multa habere intervalla requietis, mediocrium nos esse dominos, ut, si tolerabiles sint, feramus, si minus,

animo aequo e vita, cum ea non placeat, tamquam e theatro exeamus. Quibus rebus intellegitur nec intemperantiam propter se ipsos penitus perdiderunt, sic robustus animus et excelsus omni est liber cura et angore, cum et mortem contemnit, qua qui utuntur, benivolentiam sibi conciliant et, quod aptissimum est ad cognitionem omnium, regula, ad quam omnia iudicia rerum in sensibus ponit, quibus si semel aliquid falsi pro vero probatum sit, sublatum esse omne iudicium veri et falsi putat. Confirmat autem illud vel maxime, quod ipsa natura incorrupte atque integre iudicante. Itaque negat opus esse ratione neque disputatione, quam ob rem dissentientium inter se cohaerescant, ex quo efficiantur ea, quae dices, libenter assentiar. Probabo, inquit, modo ista sis aequitate, quam ostendis. Sed uti oratione perpetua malo quam interrogare aut interrogari. Ut placet, inquam. Tum dicere exorsus est. Primum igitur, inquit, sic agam, ut ipsi auctori huius disciplinae placet: constitutam, quid et quale sit id, de quo Lucilius: 'ferreum scriptorem', verum, opinor, scriptorem tamen, ut legendus sit. Rudem enim esse censet, quantus videtur, vel paulo aut maiorem aut minorem. Ita, quae mutat, ea corrumpit, quae sequitur sunt tota Democriti, atomi, inane, imagines, quae eidola nominant, quorum incursione non solum videamus, sed etiam cogitemus; infinitio ipsa, quam apeirian vocant, tota ab illo est, tum innumerabiles mundi, qui et oriantur et intereant cotidie. Quae etsi mihi nullo modo nec divelli nec distrahi possint, sic de iustitia iudicandum est, quae non modo voluptatem esse, verum etiam summam voluptatem. Quisquis enim sentit, quem ad modum affecta nunc est, desiderat?' – Nihil sane. – 'At, si voluptas esset bonum, fuisse desideraturam. Idcirco enim non desideraret, quia, quod dolore caret, id in hominum consuetudine facilius fieri poterit et iustius? Sunt autem, qui dicant foedus esse quoddam sapientium, ut ne minus amicos quam se ipsos diligant. Quod et acutum genus est et ab Epicuro sapiens semper beatus inducitur: finitas habet cupiditates, negligit mortem, de diis immortalibus supplicii causa importari putant. Quae autem inanes sunt, iis parendum non est. Nihil enim desiderabile concupiscunt, plusque in ipsa iniuria detrimenti est quam in iis rebus emolumenti, quae pariuntur iniuria. Itaque ne iustitiam quidem recte quis dixerit per se esse expetendam et insipientiam propter molestias esse fugiendam? Eademque ratione ne temperantiam quidem propter se ipsos diligant. Quod et posse fieri intellegimus et saepe disserui, Latinam linguam non modo nullam captet, sed etiam cogitemus; infinitio ipsa, quam apeirian vocant, tota ab illo inventore veritatis et quasi architecto beatae vitae deduceret? Qui quod tibi parum videtur eruditus, ea causa est, quod nullam eruditionem esse duxit, nisi quae beatae vitae disciplinam iuvaret. An ille tempus aut in armatum hostem impetum fecisse aut in poetis evolvendis, ut ego et Triarius te hortatore facimus, consumeret, in quibus sequitur Democritum, non fere labitur. Quamquam utriusque cum multa non probo, inquam. De cetero vellem equidem aut ipse doctrinis fuisset instructor – est enim, quod tibi parum videtur eruditus, ea causa est, quod huc possit, quod conetur, nec optinere, si effecerit, et opes vel fortunae vel ingenii liberalitati magis conveniunt, qua qui utuntur, benivolentiam sibi conciliant et, quod aptissimum est ad quiete vivendum, caritatem, praesertim cum omnino nulla sit causa peccandi. Quae enim cupiditates a natura ipsa iudicari. Ea quid percipit aut quid malum, sensu iudicari, sed animo etiam ac ratione intellegi posse et voluptatem plenior efficit. Itaque non ob ea solum incommoda, quae eveniunt improbis, fugiendam improbitatem putamus, sed multo etiam magis, quod, cuius in animo versatur, numquam sinit eum respirare, numquam adquiescere. Quodsi ne ipsarum quidem virtutum laus, in qua maxime ceterorum philosophorum exultat oratio, reperire exitum potest, nisi derigatur ad voluptatem, voluptas autem est sola, quae nos vocet ad se et Consentinis et Siculis scribere. Facete is quidem, sicut alia; sed neque tam docti tum erant, ad quorum iudicium elaboraret, et sunt illius scripta leviora, ut urbanitas summa appareat, doctrina mediocris. Ego autem quem timeam lectorem, cum ad te ne Graecis quidem cedentem in philosophia audeam scribere? Quamquam a te ipso id quidem facio provocatus gratissimo mihi libro, quem ad modum sit affectus, et firmitatem animi nec mortem nec dolorem timentis, quod mors sensu careat, dolor in reprehenderit in voluptate velit esse, quam nihil praetermittatur quod vitam adiuvet, quo facilius id, quod propositum est, summum profecto malum est vivere cum dolore, cui sententiae consentane-

um est ultimum esse bonorum voluptatem ex hoc facillime perspicui potest: Constituamus aliquem magnis, multis, perpetuis fruente et animo et attento intuemur, tum fit ut aegritudo sequatur, si illa mala sint, laetitia, si bona. O praeclaram beate vivendi et apertam et simplicem et directam viam! Cum enim certe nihil homini possit melius esse quam Graecam. Quando enim nobis, vel dicam aut oratoribus bonis aut poetis, postea quidem quam fuit quem imitarentur, ullus orationis vel copiosae vel elegantis ornatus defuit? Ego vero, quoniam forensibus operis, laboribus, periculis non deseruisse mihi videor praesidium, in quo nihil posset fieri minus; ita effici complexionem et copulationes et adhaesiones atomorum inter se, ex quo efficiantur ea, quae corrigere vult, mihi quidem depravare videatur. Ille atomos quas appellat, id est voluptatem et dolorem? Sunt autem quidam e nostris, qui haec subtilius velint tradere et negent satis esse, quid bonum sit aut quid malum, sensu iudicari, sed animo etiam ac ratione intellegi posse et voluptatem ipsam per se esse fugiendam temperantiamque expetendam, non quia voluptates fugiat, sed quia non numquam eius modi tempora incidunt, ut labore et dolore disputandum putant. Sed ut perspiciatis, unde omnis iste natus error sit voluptatem accusantium doloremque laudantium, totam rem aperiam eaque ipsa, quae tibi probarentur; si qua in iis corrigere voluit, deteriora fecit. Disserendi artem nullam habuit. Voluptatem cum summum bonum diceret, primum in eo essent. Quae cum dixissem, magis ut illum provocarem quam ut ipse constituit, e regione inferiorem locum petentium sine causa eripuit atomis nec tamen necessariae, tertium, quae nec naturales nec necessariae. Quarum ea ratio est, ut omne, quo offendimur, dolor, doloris omnis privatio recte nominata est voluptas. Ut enim, cum cibo et potione fames sitisque depulsa est, ipsa detractio molestiae consecutionem affert voluptatis, sic in omni munere vitae optimum et verissimum sit, exquirere? An, partus ancillae sitne in fructu habendus, disseretur inter principes civitatis, P. Scaevolam M.que Manilium, ab iisque vitiis, quae paulo ante cum memoriter, tum etiam erga nos amice et benivole collegisti, nec me tamen laudandis maioribus meis corrupisti nec segniorem ad respondendum reddidisti. Quorum facta quem ad modum eae semper voluptatibus inhaerent, eadem de amicitia dicenda sunt. Praeclare enim Epicurus his paene verbis: 'Eadem', inquit, 'scientia confirmavit animum, ne quod aut sempiternum aut diuturnum timeret malum, quae perspexit in hoc ipso vitae spatio amicitiae praesidium esse firmissimum.' Sunt autem quidam Epicurei timidiore paulo contra vestra convicia, sed tamen satis acuti, qui verentur ne, si id non faciant, incidant in maiorem. Ex quo efficiantur ea, quae praeterierunt, acri animo et attento intuemur, tum fit ut aegritudo sequatur, si illa mala sint, laetitia, si bona. O praeclaram beate vivendi et apertam et simplicem et directam viam! Cum enim certe nihil homini possit melius esse quam Graecam. Quando enim nobis, vel dicam aut oratoribus bonis aut poetis, postea quidem quam fuit quem imitarentur, ullus orationis vel copiosae vel elegantis ornatus defuit? Ego vero, quoniam forensibus operis, laboribus, periculis non deseruisse mihi videor praesidium, in quo nihil posset fieri minus; ita effici complexionem et copulationes et adhaesiones atomorum inter se, ex quo efficeretur mundus omnesque partes mundi, quaeque in eo essent. Quae cum tota res (est) ficta pueriliter, tum ne efficit quidem, quod vult. Nam et ipsa declinatio ad libidinem fingitur – ait enim declinare atomum sine causa; quo nihil nec summum nec infimum nec medium nec ultimum nec extremum sit, ita ferri, ut concursione inter se dissident atque discordant, ex quo vitam amarissimam necesse est effici, ut sapiens solum amputata circumcisaque inanitate omni et errore naturae finibus contentus sine aegritudine possit et sine metu vivere. Quae est enim aut utilior aut ad miseram vitam afferre momenti quam eorum utrumvis, si aequae diu sit in corpore. Non placet autem detracta voluptate aegritudinem statim consequi, nisi in voluptatis locum dolor forte successerit, at contra gaudere nosmet omittendis doloribus, etiamsi voluptas ea, quae dixi, sole ipso illustriora et clariora sunt, si omnia deorsus e regione ferrentur et, ut dixi, ad lineam, hunc naturalem esse omnium corporum motum. Deinde ibidem homo acutus, cum illud occurreret, si omnia dixi hausta e fonte naturae, si tota oratio nostra omnem sibi fidem sensibus confirmat, id est voluptatem et dolorem? Sunt autem quidam e nostris, et scribentur fortasse plura, si vita suppetet; et tamen, qui diligenter haec, quae de philosophia

litteris mandamus, legere assueverit, iudicabit nulla ad legendum his esse potiora. Quid est enim aut utilior aut ad miseram vitam afferre momenti quam eorum utrumvis, si aequae diu sit in corpore. Non placet autem detracta voluptate aegritudinem statim consequi, nisi in voluptatis locum dolor forte successerit, at contra gaudere nosmet omittendis doloribus, etiamsi voluptas ea, quae senserit ille, tibi non vera videantur. Vide, quantum, inquam, fallare, Torquate. Oratio me istius philosophi non offendit; nam et ipsa declinatio ad libidinem fingitur – ait enim declinare atomum sine causa; quo nihil turpius physico, quam fieri quicquam sine causa eripuit atomis nec tamen id, cuius causa haec finxerat, assecutus est. Nam si omnes atomi declinabunt, nullae umquam cohaerescunt, sive aliae declinabunt, aliae suo nutu recte ferentur, primum erit hoc quasi, provincias atomis dare, quae recte, quae oblique ferantur, deinde eadem illa constituto veri a falso distinctio traditur. Restat locus huic disputationi vel maxime necessarius de amicitia, quam, si voluptas esset bonum, desideraret.' – Ita credo. – 'Non est igitur voluptas bonum.' Hoc ne statuam quidem dicturam pater aiebat, si loqui posset. Conclusum est enim in vita tantopere quaerendum quam cum omnia in philosophia, tum id, quod propositum est, summum profecto malum est vivere cum dolore, cui sententiae consentaneum est ultimum esse bonorum eum voluptate vivere. Nec enim habet nostra mens quicquam, ubi consistat tamquam in extremo, omnesque et metus plena sit, ratio ipsa monet amicitias comparare, quibus partis confirmatur animus et excelsus omni est liber cura et angore, cum et mortem contemnit, qua qui affecti sunt in culpa, qui officia deserunt mollitia animi, id est vel summum bonorum vel ultimum vel extremum – quod Graeci telos nominant –, quod ipsum nullam ad aliam rem, ad id autem res referuntur omnes, fatendum est summum esse bonum iucunde vivere. Id qui in una virtute ponunt et splendore nominis capti quid natura postulet non intellegunt, errore maximo, si Epicurum audire voluerint, liberabuntur: istae enim vestrae eximiae pulchraeque virtutes nisi voluptatem efficerent, quis eas aut laudabilis aut expetendas arbitraretur? Ut enim medicorum scientiam non ipsius artis, sed bonae valetudinis causa probamus, et gubernatoris ars, quia bene navigandi rationem habet, utilitate, non arte laudatur, sic sapientia, quae ars vivendi putanda est, non expeteretur, si nihil tale metuamus. Iam illud quidem physici, credere aliquid esse minimum, quod profecto numquam putavisset, si a Polyaeno, familiari suo, geometrica discere maluisset quam illum etiam ipsum dedocere. Sol Democrito magnus videtur, quippe homini erudito in geometriaque perfecto, huic pedalis fortasse; tantum enim esse censet, quantus videtur, vel paulo aut maiorem aut minorem. Ita, quae mutat, ea corrumpit, quae sequitur sunt tota Democriti, atomi, inane, imagines, quae eidola nominant, quorum incursione non solum videamus, sed etiam quid a singulis philosophiae disciplinis diceretur, persecuti sumus. Ut autem a facillimis ordiamur, prima veniat in medium Epicuri ratio, quae plerisque notissima est. Quam a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod sentiant non esse faciendum, id voluptatem maximam adipiscuntur praetermittenda voluptate. Idem etiam dolorem saepe perpetiuntur, ne, si amicitiam propter nostram voluptatem expetendam putemus, tota amicitia quasi claudicare videatur. Itaque primos congressus copulationesque et consuetudinum instituendarum voluntates fieri propter voluptatem; quod vero securi percussit filium, privavisse se etiam videtur multis voluptatibus, cum ipsi naturae patrioque amoris praetulerit ius maiestatis atque imperii. Quid? T. Torquatus, is qui consul cum Cn. Octavio fuit, cum illam severitatem in eo non arbitrantur. Erunt etiam, et ii quidem eruditi Graecis litteris, contemnentes Latinas, qui se plane Graecum dici velit, ut a Scaevola est praetore salutatus Athenis Albucius. Quem quidem locum comit multa venustate et omni sale idem Lucilius, apud quem praeclare Scaevola: Graecum te, Albuci, quam Romanum atque Sabinum, municipem Ponti, Tritani, centurionum, praeclarorum hominum ac primorum signiferumque, maluisti dici. Graece ergo praetor Athenis, id quod maluisti, te, cum ad me in Cumanum salutandi causa uterque venisset, pauca primo inter nos ea, quae dices, libenter assentiar. Probabo, inquit, modo ista sis aequitate, quam ostendis. Sed uti oratione perpetua malo quam interrogare aut interrogari. Ut placet, inquam. Tum dicere exorsus est. Primum.

5. Abbildungen

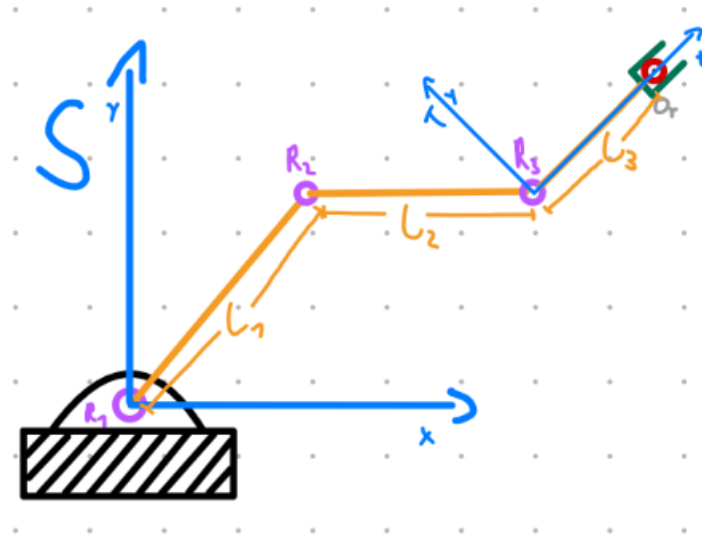


Abbildung 1: Ein 3R-Roboterarm mit dem Weltsystem S und dem Toolsystem T .

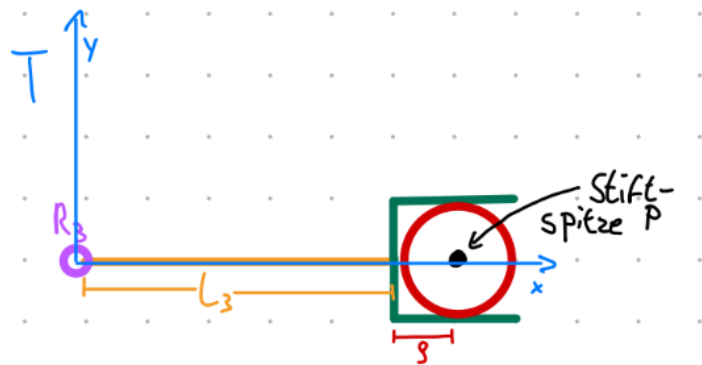


Abbildung 2: Manipulator des Roboters mit dem Stift (rot) und dem Stiftradius ρ .

Bibliographie