

Computational ADU Design: An Evolutionary Approach

Preston Pape

17 May 2021

Contents

1	Introduction	2
2	Literature Review	4
3	Methods	7
4	Results	10
5	Conclusion	13

Chapter 1

Introduction

The United States is amid an unprecedented housing crisis, stemming from issues outside of housing, such as neoliberal cuts to social benefits spending and the increasing privatization of essentially every aspect of American life. The result is a rising population of unhoused peoples and the inability for many to become a homeowner or to even afford minimum monthly rent in many cities. Solutions to this dilemma are neither straightforward nor definite. However, as designers and architects, this problem can only be addressed at the symptom-level, while advocating at the root cause.

Seattle, Washington; Portland, Oregon; and Vancouver, British Columbia are exploring the use of accessory dwelling units (ADUs) as one method to combat surging housing prices. Use of ADUs is an effective means of increasing housing density without replacing single family housing zones with new multi family residential construction. Additionally, ADUs are often designed to be rented, generating supplementary income for the homeowner. Ten detached ADU (or DADU) designs are pre-approved by the City of Seattle and are available online to entice homeowners. However, a 2019 city survey shows that there are calls for an increased focus on sustainability and cost in the construction of ADUs[?]. These out of the box designs do not offer the scalability or energy efficiency that an ADU designed specifically per site offers.

Homeowners associations and other local organizations have historically fought back against any proposed density increases through zoning or other method. However, Seattle and the other aforementioned cities in the Pacific Northwest have succeeded in allowing for the construction of ADUs in recent decades. The pre-approved designs are free, but require payment of around

one thousand dollars [check this] for approval and come with one significant downside of many other pre-designed structures- a lack of contextual design and individualization.

This research explores whether the use of genetic algorithms via shape grammar methodology can effectively optimize DADU plans to site context, increases building performance or further encourages construction. The proposed methodology begins by reading example site data from the city of Seattle including building and vegetation context from the Seattle GIS. Next, a genetic algorithm explores the design space for a viable floor plan solution based on a fitness function. This fitness function evaluates individual designs according to predefined traits. Traits to evaluate include window to wall ratio, insulation depth/type, ventilation strategy, and shading technique. Locating the correct combination of traits to minimize (or maximize) which results in a higher performance DADU is the desired outcome. Resulting designs will be analyzed and compared via energy performance simulation. The end-goal is to develop a computational tool using the aforementioned system to conduct automated site analysis, as well as parametric generation of DADUs.

Chapter 2

Literature Review

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nullam feugiat lectus turpis. In quam arcu, faucibus quis nisl sodales, maximus venenatis ligula. Quisque suscipit nisi quis pretium interdum. Quisque placerat diam enim. Duis facilisis massa vitae diam volutpat dictum. Morbi diam dui, elementum eget tellus at, scelerisque egestas risus. Duis viverra sagittis congue. Curabitur laoreet consequat neque, eget venenatis odio commodo non. Cras sed volutpat velit, id ultrices quam. Pellentesque porttitor vehicula elit. Donec vitae lacus vel odio accumsan commodo sodales vel mi. Phasellus tortor leo, dignissim nec metus id, mattis aliquet ex.

Vestibulum ultrices dignissim lorem non finibus. Integer id mi vel ipsum condimentum sagittis varius at odio. Quisque laoreet nibh nec augue feugiat, eget vestibulum risus ultricies. Nunc ut sollicitudin leo. Ut fermentum risus quis varius mollis. Sed eu eros ut massa posuere porta eget in felis. Aliquam volutpat mollis consequat. Suspendisse potenti.

Integer aliquet elit quis ex aliquam, a sollicitudin neque dignissim. Suspendisse vestibulum quam mauris, sed consequat risus mollis vel. Nulla semper sem vitae lectus blandit vehicula. Nunc facilisis at lacus et malesuada. Phasellus id lacus vitae sapien pharetra vulputate. Proin bibendum quam ac diam hendrerit, id malesuada libero pharetra. Suspendisse finibus quam lobortis diam egestas, porttitor placerat leo bibendum. Sed aliquet dui vestibulum, rhoncus mi et, ornare arcu. In id nisl sed lorem fermentum euismod suscipit eget urna. Aenean sit amet lacinia lectus. Nunc iaculis libero ac tincidunt sodales.

Praesent scelerisque pretium libero, aliquam rhoncus orci auctor vel. Mauris eu lectus sed leo auctor imperdiet. Donec cursus nunc et est scelerisque,

ac rutrum lorem accumsan. Morbi condimentum arcu et massa efficitur, et varius nisl rhoncus. Morbi rutrum ullamcorper ipsum. Aliquam vitae elementum nisl, sit amet molestie nunc. Curabitur tempor sit amet felis vitae egestas. Quisque quis risus ultrices, tincidunt tortor at, accumsan ligula. Curabitur vel nisi non nunc bibendum rhoncus eu nec arcu. Fusce et nisi id nulla tempor cursus vel eget ipsum.

Phasellus eu commodo metus, vitae pulvinar magna. Ut dignissim, nisl eu feugiat tempor, dui sem efficitur libero, sed dictum mauris justo ut urna. Donec ornare sapien ut lorem gravida, et accumsan nisi imperdiet. Mauris sem metus, volutpat a tempor feugiat, vestibulum ut urna. In mollis ultrices enim et tempor. Nullam enim libero, lobortis et pellentesque sodales, volutpat eu mi. Sed rhoncus vehicula rhoncus. Nullam in ultricies massa.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nullam feugiat lectus turpis. In quam arcu, faucibus quis nisl sodales, maximus venenatis ligula. Quisque suscipit nisi quis pretium interdum. Quisque placerat diam enim. Duis facilisis massa vitae diam volutpat dictum. Morbi diam dui, elementum eget tellus at, scelerisque egestas risus. Duis viverra sagittis congue. Curabitur laoreet consequat neque, eget venenatis odio commodo non. Cras sed volutpat velit, id ultrices quam. Pellentesque porttitor vehicula elit. Donec vitae lacus vel odio accumsan commodo sodales vel mi. Phasellus tortor leo, dignissim nec metus id, mattis aliquet ex.

Vestibulum ultrices dignissim lorem non finibus. Integer id mi vel ipsum condimentum sagittis varius at odio. Quisque laoreet nibh nec augue feugiat, eget vestibulum risus ultricies. Nunc ut sollicitudin leo. Ut fermentum risus quis varius mollis. Sed eu eros ut massa posuere porta eget in felis. Aliquam volutpat mollis consequat. Suspendisse potenti.

Integer aliquet elit quis ex aliquam, a sollicitudin neque dignissim. Suspendisse vestibulum quam mauris, sed consequat risus mollis vel. Nulla semper sem vitae lectus blandit vehicula. Nunc facilisis at lacus et malesuada. Phasellus id lacus vitae sapien pharetra vulputate. Proin bibendum quam ac diam hendrerit, id malesuada libero pharetra. Suspendisse finibus quam lobortis diam egestas, porttitor placerat leo bibendum. Sed aliquet dui vestibulum, rhoncus mi et, ornare arcu. In id nisl sed lorem fermentum euismod suscipit eget urna. Aenean sit amet lacinia lectus. Nunc iaculis libero ac tincidunt sodales.

Praesent scelerisque pretium libero, aliquam rhoncus orci auctor vel. Mauris eu lectus sed leo auctor imperdiet. Donec cursus nunc et est scelerisque, ac rutrum lorem accumsan. Morbi condimentum arcu et massa efficitur, et varius nisl rhoncus. Morbi rutrum ullamcorper ipsum. Aliquam vitae elementum nisl, sit amet molestie nunc. Curabitur tempor sit amet felis vitae

egestas. Quisque quis risus ultrices, tincidunt tortor at, accumsan ligula. Curabitur vel nisi non nunc bibendum rhoncus eu nec arcu. Fusce et nisi id nulla tempor cursus vel eget ipsum.

Phasellus eu commodo metus, vitae pulvinar magna. Ut dignissim, nisl eu feugiat tempor, dui sem efficitur libero, sed dictum mauris justo ut urna. Donec ornare sapien ut lorem gravida, et accumsan nisi imperdiet. Mauris sem metus, volutpat a tempor feugiat, vestibulum ut urna. In mollis ultrices enim et tempor. Nullam enim libero, lobortis et pellentesque sodales, volutpat eu mi. Sed rhoncus vehicula rhoncus. Nullam in ultricies massa.

Chapter 3

Methods

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nullam feugiat lectus turpis. In quam arcu, faucibus quis nisl sodales, maximus venenatis ligula. Quisque suscipit nisi quis pretium interdum. Quisque placerat diam enim. Duis facilisis massa vitae diam volutpat dictum. Morbi diam dui, elementum eget tellus at, scelerisque egestas risus. Duis viverra sagittis congue. Curabitur laoreet consequat neque, eget venenatis odio commodo non. Cras sed volutpat velit, id ultrices quam. Pellentesque porttitor vehicula elit. Donec vitae lacus vel odio accumsan commodo sodales vel mi. Phasellus tortor leo, dignissim nec metus id, mattis aliquet ex.

Vestibulum ultrices dignissim lorem non finibus. Integer id mi vel ipsum condimentum sagittis varius at odio. Quisque laoreet nibh nec augue feugiat, eget vestibulum risus ultricies. Nunc ut sollicitudin leo. Ut fermentum risus quis varius mollis. Sed eu eros ut massa posuere porta eget in felis. Aliquam volutpat mollis consequat. Suspendisse potenti.

Integer aliquet elit quis ex aliquam, a sollicitudin neque dignissim. Suspendisse vestibulum quam mauris, sed consequat risus mollis vel. Nulla semper sem vitae lectus blandit vehicula. Nunc facilisis at lacus et malesuada. Phasellus id lacus vitae sapien pharetra vulputate. Proin bibendum quam ac diam hendrerit, id malesuada libero pharetra. Suspendisse finibus quam lobortis diam egestas, porttitor placerat leo bibendum. Sed aliquet dui vestibulum, rhoncus mi et, ornare arcu. In id nisl sed lorem fermentum euismod suscipit eget urna. Aenean sit amet lacinia lectus. Nunc iaculis libero ac tincidunt sodales.

Praesent scelerisque pretium libero, aliquam rhoncus orci auctor vel. Mauris eu lectus sed leo auctor imperdiet. Donec cursus nunc et est scelerisque,

ac rutrum lorem accumsan. Morbi condimentum arcu et massa efficitur, et varius nisl rhoncus. Morbi rutrum ullamcorper ipsum. Aliquam vitae elementum nisl, sit amet molestie nunc. Curabitur tempor sit amet felis vitae egestas. Quisque quis risus ultrices, tincidunt tortor at, accumsan ligula. Curabitur vel nisi non nunc bibendum rhoncus eu nec arcu. Fusce et nisi id nulla tempor cursus vel eget ipsum.

Phasellus eu commodo metus, vitae pulvinar magna. Ut dignissim, nisl eu feugiat tempor, dui sem efficitur libero, sed dictum mauris justo ut urna. Donec ornare sapien ut lorem gravida, et accumsan nisi imperdiet. Mauris sem metus, volutpat a tempor feugiat, vestibulum ut urna. In mollis ultrices enim et tempor. Nullam enim libero, lobortis et pellentesque sodales, volutpat eu mi. Sed rhoncus vehicula rhoncus. Nullam in ultricies massa.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nullam feugiat lectus turpis. In quam arcu, faucibus quis nisl sodales, maximus venenatis ligula. Quisque suscipit nisi quis pretium interdum. Quisque placerat diam enim. Duis facilisis massa vitae diam volutpat dictum. Morbi diam dui, elementum eget tellus at, scelerisque egestas risus. Duis viverra sagittis congue. Curabitur laoreet consequat neque, eget venenatis odio commodo non. Cras sed volutpat velit, id ultrices quam. Pellentesque porttitor vehicula elit. Donec vitae lacus vel odio accumsan commodo sodales vel mi. Phasellus tortor leo, dignissim nec metus id, mattis aliquet ex.

Vestibulum ultrices dignissim lorem non finibus. Integer id mi vel ipsum condimentum sagittis varius at odio. Quisque laoreet nibh nec augue feugiat, eget vestibulum risus ultricies. Nunc ut sollicitudin leo. Ut fermentum risus quis varius mollis. Sed eu eros ut massa posuere porta eget in felis. Aliquam volutpat mollis consequat. Suspendisse potenti.

Integer aliquet elit quis ex aliquam, a sollicitudin neque dignissim. Suspendisse vestibulum quam mauris, sed consequat risus mollis vel. Nulla semper sem vitae lectus blandit vehicula. Nunc facilisis at lacus et malesuada. Phasellus id lacus vitae sapien pharetra vulputate. Proin bibendum quam ac diam hendrerit, id malesuada libero pharetra. Suspendisse finibus quam lobortis diam egestas, porttitor placerat leo bibendum. Sed aliquet dui vestibulum, rhoncus mi et, ornare arcu. In id nisl sed lorem fermentum euismod suscipit eget urna. Aenean sit amet lacinia lectus. Nunc iaculis libero ac tincidunt sodales.

Praesent scelerisque pretium libero, aliquam rhoncus orci auctor vel. Mauris eu lectus sed leo auctor imperdiet. Donec cursus nunc et est scelerisque, ac rutrum lorem accumsan. Morbi condimentum arcu et massa efficitur, et varius nisl rhoncus. Morbi rutrum ullamcorper ipsum. Aliquam vitae elementum nisl, sit amet molestie nunc. Curabitur tempor sit amet felis vitae

egestas. Quisque quis risus ultrices, tincidunt tortor at, accumsan ligula. Curabitur vel nisi non nunc bibendum rhoncus eu nec arcu. Fusce et nisi id nulla tempor cursus vel eget ipsum.

Phasellus eu commodo metus, vitae pulvinar magna. Ut dignissim, nisl eu feugiat tempor, dui sem efficitur libero, sed dictum mauris justo ut urna. Donec ornare sapien ut lorem gravida, et accumsan nisi imperdiet. Mauris sem metus, volutpat a tempor feugiat, vestibulum ut urna. In mollis ultrices enim et tempor. Nullam enim libero, lobortis et pellentesque sodales, volutpat eu mi. Sed rhoncus vehicula rhoncus. Nullam in ultricies massa.

Chapter 4

Results

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nullam feugiat lectus turpis. In quam arcu, faucibus quis nisl sodales, maximus venenatis ligula. Quisque suscipit nisi quis pretium interdum. Quisque placerat diam enim. Duis facilisis massa vitae diam volutpat dictum. Morbi diam dui, elementum eget tellus at, scelerisque egestas risus. Duis viverra sagittis congue. Curabitur laoreet consequat neque, eget venenatis odio commodo non. Cras sed volutpat velit, id ultrices quam. Pellentesque porttitor vehicula elit. Donec vitae lacus vel odio accumsan commodo sodales vel mi. Phasellus tortor leo, dignissim nec metus id, mattis aliquet ex.

Vestibulum ultrices dignissim lorem non finibus. Integer id mi vel ipsum condimentum sagittis varius at odio. Quisque laoreet nibh nec augue feugiat, eget vestibulum risus ultricies. Nunc ut sollicitudin leo. Ut fermentum risus quis varius mollis. Sed eu eros ut massa posuere porta eget in felis. Aliquam volutpat mollis consequat. Suspendisse potenti.

Integer aliquet elit quis ex aliquam, a sollicitudin neque dignissim. Suspendisse vestibulum quam mauris, sed consequat risus mollis vel. Nulla semper sem vitae lectus blandit vehicula. Nunc facilisis at lacus et malesuada. Phasellus id lacus vitae sapien pharetra vulputate. Proin bibendum quam ac diam hendrerit, id malesuada libero pharetra. Suspendisse finibus quam lobortis diam egestas, porttitor placerat leo bibendum. Sed aliquet dui vestibulum, rhoncus mi et, ornare arcu. In id nisl sed lorem fermentum euismod suscipit eget urna. Aenean sit amet lacinia lectus. Nunc iaculis libero ac tincidunt sodales.

Praesent scelerisque pretium libero, aliquam rhoncus orci auctor vel. Mauris eu lectus sed leo auctor imperdiet. Donec cursus nunc et est scelerisque,

ac rutrum lorem accumsan. Morbi condimentum arcu et massa efficitur, et varius nisl rhoncus. Morbi rutrum ullamcorper ipsum. Aliquam vitae elementum nisl, sit amet molestie nunc. Curabitur tempor sit amet felis vitae egestas. Quisque quis risus ultrices, tincidunt tortor at, accumsan ligula. Curabitur vel nisi non nunc bibendum rhoncus eu nec arcu. Fusce et nisi id nulla tempor cursus vel eget ipsum.

Phasellus eu commodo metus, vitae pulvinar magna. Ut dignissim, nisl eu feugiat tempor, dui sem efficitur libero, sed dictum mauris justo ut urna. Donec ornare sapien ut lorem gravida, et accumsan nisi imperdiet. Mauris sem metus, volutpat a tempor feugiat, vestibulum ut urna. In mollis ultrices enim et tempor. Nullam enim libero, lobortis et pellentesque sodales, volutpat eu mi. Sed rhoncus vehicula rhoncus. Nullam in ultricies massa.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nullam feugiat lectus turpis. In quam arcu, faucibus quis nisl sodales, maximus venenatis ligula. Quisque suscipit nisi quis pretium interdum. Quisque placerat diam enim. Duis facilisis massa vitae diam volutpat dictum. Morbi diam dui, elementum eget tellus at, scelerisque egestas risus. Duis viverra sagittis congue. Curabitur laoreet consequat neque, eget venenatis odio commodo non. Cras sed volutpat velit, id ultrices quam. Pellentesque porttitor vehicula elit. Donec vitae lacus vel odio accumsan commodo sodales vel mi. Phasellus tortor leo, dignissim nec metus id, mattis aliquet ex.

Vestibulum ultrices dignissim lorem non finibus. Integer id mi vel ipsum condimentum sagittis varius at odio. Quisque laoreet nibh nec augue feugiat, eget vestibulum risus ultricies. Nunc ut sollicitudin leo. Ut fermentum risus quis varius mollis. Sed eu eros ut massa posuere porta eget in felis. Aliquam volutpat mollis consequat. Suspendisse potenti.

Integer aliquet elit quis ex aliquam, a sollicitudin neque dignissim. Suspendisse vestibulum quam mauris, sed consequat risus mollis vel. Nulla semper sem vitae lectus blandit vehicula. Nunc facilisis at lacus et malesuada. Phasellus id lacus vitae sapien pharetra vulputate. Proin bibendum quam ac diam hendrerit, id malesuada libero pharetra. Suspendisse finibus quam lobortis diam egestas, porttitor placerat leo bibendum. Sed aliquet dui vestibulum, rhoncus mi et, ornare arcu. In id nisl sed lorem fermentum euismod suscipit eget urna. Aenean sit amet lacinia lectus. Nunc iaculis libero ac tincidunt sodales.

Praesent scelerisque pretium libero, aliquam rhoncus orci auctor vel. Mauris eu lectus sed leo auctor imperdiet. Donec cursus nunc et est scelerisque, ac rutrum lorem accumsan. Morbi condimentum arcu et massa efficitur, et varius nisl rhoncus. Morbi rutrum ullamcorper ipsum. Aliquam vitae elementum nisl, sit amet molestie nunc. Curabitur tempor sit amet felis vitae

egestas. Quisque quis risus ultrices, tincidunt tortor at, accumsan ligula. Curabitur vel nisi non nunc bibendum rhoncus eu nec arcu. Fusce et nisi id nulla tempor cursus vel eget ipsum.

Phasellus eu commodo metus, vitae pulvinar magna. Ut dignissim, nisl eu feugiat tempor, dui sem efficitur libero, sed dictum mauris justo ut urna. Donec ornare sapien ut lorem gravida, et accumsan nisi imperdiet. Mauris sem metus, volutpat a tempor feugiat, vestibulum ut urna. In mollis ultrices enim et tempor. Nullam enim libero, lobortis et pellentesque sodales, volutpat eu mi. Sed rhoncus vehicula rhoncus. Nullam in ultricies massa.

Chapter 5

Conclusion

Benefit of a pure python tool

Looking forward, moving on from the Grasshopper platform gives the benefit of non-reliance on developers to maintain the software in which the tool depends. Creation of such a tool in a singular programming language (in this case Python) further offers the ability to quickly and easily run the tool on a high variance of devices. In turn, this theoretically increases the rate of adoption by lowering the requirement to use the design tool. Additionally, Python is used within Rhino/Grasshopper (or a flavor thereof), provides many useful math and geometry libraries, and has options for injection into a web app (Flask and Django).

Limitations of Galapagos/Grasshopper workflow

Utilizing Galapagos and Grasshopper offers a sandbox environment to begin to understand genetic algorithms and to arrive at tangible design solutions faster than using a home-brewed algorithm. Galapagos offers many fewer input parameters and a much narrower scope in which to define the fitness function. In its out-of-the-box form, Galapagos only accepts number sliders as input and can only optimize integers and floats- in reality, there is not means in which to define a true fitness function, only numerical values to target.

Bibliography

- [1] ADUniverse: ADU Rules.
- [2] ADUniverse: Pre-approved ADU Designs.
- [3] ADUniverse Tool - eScience Institute, University of Washington.
- [4] EnergyPlusTM Version 9.5.0 Documentation - Engineering Reference.
- [5] Pre-approved Plans for Accessory Dwelling Units Survey Results.
- [6] Seattle Land Use Code.
- [7] Single Zone vs Multi Zone Energy Model for Early Stage Design.
- [8] Margaret F. Brinig and Nicole Stelle Garnett. A room of one's own? Accessory dwelling unit reforms and local parochialism. 45(3):519–569.
- [9] Toms Mndez Echenagucia, Alfonso Capozzoli, Ylenia Cascone, and Mario Sassone. The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. 154:577–591.
- [10] Ralph Evins. A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. 22:230–245.
- [11] D. Gossard, B. Lartigue, and F. Thellier. Multi-objective optimization of a building envelope for thermal performance using genetic algorithms and artificial neural network. 67:253–260.
- [12] Li Li. The optimization of architectural shape based on Genetic Algorithm. 1(4):392–399.

- [13] Chris Mackey and Mostapha Sadeghipour Roudsari. The tool (s) versus the toolkit. In *Humanizing Digital Reality*, pages 93–101. Springer.
- [14] Gabriel Metcalf. Sand castles before the tide? Affordable housing in expensive cities. 32(1):59–80.
- [15] Eugenio Rodrigues, Adlio Rodrigues Gaspar, and Ivaro Gomes. An evolutionary strategy enhanced with a local search technique for the space allocation problem in architecture, Part 2: Validation and performance tests. 45(5):898–910.
- [16] Likai Wang, Kian Chen, Patrick Janssen, and Guohua ji. *Algorithmic Generation Of Architectural Massing Models For Building Design Optimization - Parametric Modelling Using Subtractive and Additive Form Generation Principles*.
- [17] Likai Wang, Patrick Janssen, Kian Chen, Ziyu Tong, and Guohua ji. Subtractive Building Massing for Performance-Based Architectural Design Exploration: A Case Study of Daylighting Optimization. 11:6965.