

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
Факультет інформатики
Кафедра мультимедійних систем

Метод аналізу ієрархій для ранжування альтернатив та підвищення його узгодженості

Текстова частина до курсової роботи
за спеціальністю „Комп’ютерні науки” 122

Керівник курсової роботи
канд. к.т.н., доц. _Олецький О.В.
(*прізвище та ініціали*)

(*підпис*)

Виконала студентка _____
_____ Козуліна А.Є.

(*прізвище та ініціали*)

“ _____ ” _____ 2020 р.

№ з/п	ПЕРЕЛІК РОБІТ	Термін виконання	Да нау
1.	Вибір теми, затвердження її на засіданні кафедри та закріплення наукового керівника Узгодження календарного графіка підготовки кваліфікаційної роботи. Ознайомлення студента з критеріями оцінювання кваліфікаційної роботи (п. 8.5).	жовтень	
2.	Вивчення джерел літератури, матеріалів архівів, періодичних видань, збір та узагальнення фактів, даних	жовтень – листопад	
3.	Складання плану каліф. роботи та узгодження з науковим керівником	листопад	
4.	Написання розділів роботи <i>або</i> Постановка експерименту, аналіз отриманих результатів наукового дослідження	листопад – березень	
5.	Проміжний контроль виконання роботи	лютий	
6.	Написання кваліфікаційної роботи в цілому, ознайомлення з її першим варіантом наукового керівника	січень – березень	
	Розділ 1 (постановка проблеми, теоретичні основи, огляд літературних джерел)		
	Розділ 2 (аналітично-дослідницька частина) (експериментальна частина для природничих і біологічних наук)		
7.	Повне завершення написання кваліфікаційної роботи, оформлення її згідно з вимогами й подання на відгук науковому керівнику	квітень – початок травня	
8.	Подання кваліфікаційної роботи для перевірки письмових робіт студентів НаУКМА на відповідність вимогам академічної доброчесності,	середина травня	
9.	Подання на зовнішню рецензію	середина травня	
10.	Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи на засіданні кафедри: написання доповіді та виготовлення ілюстративного матеріалу	до 15 травня	
11.	Попередній захист кваліфікаційної роботи на засіданні кафедри	до травня	
12.	Подання кваліфікаційної роботи на кафедру з усіма супроводжувальними документами	до 15 травня	
13.	Публічний захист кваліфікаційної роботи перед екзаменаційною комісією	згідно з розкладом роботи ЕК	

Графік узгоджено «__» _____ 20__ р.

Науковий керівник Олецкий О.В.(ПІБ)

Виконавець кваліфікаційної роботи Козуліна А.Є. (ПІБ)

ЗМІСТ	Стор.
<i>ВСТУП</i>	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ВИЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	6
РОЗДІЛ 1: Теоретична частина	
1.1. Загальна Інформація	7
1.2. Постановка задачі.	8
1.3. Використане рішення.	9
РОЗДІЛ 2: Метод аналізу ієрархій та його обмеження	
2.1. Обмеження МАІ.	10
2.2. Контекст та обставини застосування МАІ.	10
2.3. Висновки до розділу.	11
РОЗДІЛ 3: Розробка алгоритму прогнозування на основі пошуку подібних траєкторій	
	12
Висновки по роботі. . . .	19
Література	
Додаток А	20

ВСТУП

1. *Актуальність*

Метод аналізу ієрархій (МАІ) є одним із таких методів прийняття рішень, який спрощує та систематизує процес прийняття рішень. Цей метод дозволяє структурувати задачу прийняття рішень, визначити важливі критерії та альтернативи, а потім використовувати парні порівняння для визначення їх відносної вагомості.

МАІ дозволяє аранжувати альтернативи на основі їх відповідності визначеним критеріям та вагомою цих критеріїв. Використовуючи ієрархічну структуру, метод дозволяє розбити складну задачу на більш прості підзадачі, що сприяє кращому розумінню проблеми та забезпечує більш об'єктивні результати.

Актуальність дослідження методу аналізу ієрархій для ранжування альтернатив та підвищення його узгодженості полягає в його практичному застосуванні в різних сферах діяльності, де прийняття рішень має вирішальне значення. Цей метод допомагає зменшити суб'єктивність прийняття рішень, забезпечує системність та об'єктивність в оцінці альтернатив, а також сприяє покращенню узгодженості рішень шляхом врахування інтересів та вагомості різних факторів.

Таким чином, дослідження методу аналізу ієрархій для ранжування альтернатив та підвищення його узгодженості має велику актуальність у контексті складних проблем прийняття рішень та пошуку оптимальних рішень в різних сферах діяльності.

2. *Об'єкт дослідження/ методи*

Для досягнення мети дослідження можуть використовуватись наступні методи: аналіз літературних джерел для отримання теоретичних основ методу аналізу ієрархій, проведення емпіричних досліджень з використанням анкетування та інтерв'ювання для збору даних про досвід застосування методу в різних сферах, статистичний аналіз даних для оцінки ефективності методу та порівняння його з іншими методами прийняття рішень.

Порівняння та аналіз різних методів прийняття рішень є важливим завданням, оскільки від якості та об'єктивності прийнятих рішень залежить успішність та ефективність діяльності. Враховуючи широке застосування методу аналізу ієрархій у різних сферах, важливо дослідити його переваги, обмеження та можливості для подальшого вдосконалення та оптимізації його застосування. Таке дослідження є актуальним для вдосконалення процесу прийняття рішень та підвищення ефективності управлінських та організаційних процесів.

3. *Практичне значення*

З введенням автоматизованих систем прийняття рішень на основі алгоритмів, значне значення набуває аналітичний ієрархічний процес (АНР), який був запропонований Т. Сааті. АНР включає оцінки експертів, зазвичай у формі попарних порівнянь між альтернативами, і розглядає різні рівні ієрархії.

Однак існує проблема удосконалення початкових попарних порівнянь, навіть у випадку одного рівня ієрархії. Для матриці попарних порівнянь M розмірності n , де $M = [m^{*j}]$, де m^{*j} представляє відношення переваги між альтернативами, ваги кожної альтернативи можна отримати як компоненти вектора Перрона, позначеного як $y = \mathcal{Y}(M)$, тобто нормалізований власний вектор M . Зазвичай вага альтернативи a^n позначається як $u(a^n) = y^n$.

Існує також інший спосіб визначення ваги кожної альтернативи шляхом обчислення середнього геометричного значення відповідного рядка матриці попарних порівнянь.

Найпоширеніша шкала переваг, яка використовується для порівняння альтернатив, є шкала Сааті, в якій значення від 1 до 9 відповідають послідовним ступеням переваги.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ВИЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

МАІ – Метод аналізу ієрархій

ОПР – особа, що приймає рішення

Альтернатива – одне з можливих рішень задачі вибору (прийняття рішення).

Експерт – фахівець, який має вагомі знання стосовно предметної області задачі вибору (прийняття рішення).

Оцінка альтернативи – певним чином виражена міра відповідності альтернативи якомусь параметру чи стану оточуючого середовища.

Програмна система – система, що створена для вирішення певного кола задач, алгоритми вирішення яких в ній реалізовані програмно

РОЗДІЛ 1. Теоретична частина

1.1 Загальна Інформація

Як корисний метод для прийняття багатокритеріальних рішень, метод аналізу ієрархій (МАІ) привертає все більше уваги. Він застосовується до багатьох практичних багатокритеріальних рішень у багатьох галузях, таких як економічний аналіз, міське або регіональне планування та прогнозування тощо. Складні проблеми ієрархічно розбиваються на критерії, підкритерії та альтернативи, з яких робиться вибір. Потім люди висловлюють свої переваги, структуруючи матрицю попарних порівнянь для набору критеріїв або альтернатив щодо одного критерію. Для n елементів відповіді впорядковуються у квадратну матрицю A порядку n за шкалою від одного до дев'яти, яка називається матрицею порівнянь, елемент якої a_{ij} оцінює домінування альтернативи i над j і задовольняє умові $a_{ij} > 0, a_{ji} = 1/a_{ij}$. [1]

Завдяки методу АНР можна отримати узгоджене ранжування альтернатив, що дозволяє прийняти обґрунтовані рішення. Він знаходить широке застосування у багатьох сферах, включаючи управління проектами, прийняття стратегічних рішень, вибір інвестиційних проектів та багато іншого.

Метод аналізу ієрархій (АНР) має широкий спектр застосувань і використовується в багатьох сферах, включаючи:

1. Управління проектами: АНР допомагає прийняти рішення щодо пріоритетів проектних завдань, розподілу ресурсів, вибору підрядників та оцінки ризиків.
2. Бізнес-аналітика та стратегічне управління: АНР може використовуватись для визначення стратегічних цілей, аналізу конкурентної переваги, вибору стратегічних альтернатив та прийняття рішень щодо розвитку бізнесу.
3. Вибір інвестиційних проектів: АНР допомагає оцінити потенційні інвестиційні проекти, визначити їх прибутковість, ризики та відповідність стратегії компанії.
4. Виробниче управління та оптимізація процесів: АНР дозволяє визначити найбільш ефективні альтернативи щодо виробничих процесів, вибору технологій та оптимізації робочих потоків.
5. Маркетингові дослідження та аналіз: АНР може бути використаний для визначення пріоритетних ринкових сегментів, вибору цільової аудиторії та розробки маркетингових стратегій.
6. Вибір постачальників та партнерів: АНР допомагає визначити найкращих постачальників, партнерів або підрядників, з огляду на їх якість, ціну, надійність та інші фактори.
7. Прийняття особистих рішень: АНР може бути застосований для ранжування особистих альтернатив, таких як вибір місця проживання, автомобіля, вибір кар'єри або вибір вищого навчального закладу.

8. В цих сферах АНР допомагає структурувати рішення, враховуючи різні критерії та вагу, яку ми надаємо кожному з них. Наприклад, при виборі місця проживання можна врахувати критерії, такі як вартість житла, рівень безпеки, доступність до основних послуг та інфраструктури, якість освіти і т.д. АНР допоможе визначити, які критерії є найбільш важливими для нас і яка альтернатива найкраще задовольняє наші потреби.
9. Отже, метод аналізу ієрархій (АНР) є потужним інструментом для ранжування альтернатив і підвищення узгодженості при прийнятті рішень у різних сферах. Він дозволяє ефективно враховувати суб'єктивність експертних оцінок, забезпечувати логічні та консистентні результати, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень.

1.2 Постановка задачі

Проблема, що вирішується методом аналізу ієрархій (АНР), полягає у ранжуванні альтернатив і підвищенні його узгодженості. При прийнятті рішень виникає потреба порівняти і визначити важливість різних альтернатив, що можуть мати різні характеристики або задовольняти різні критерії.

Одна з основних проблем полягає в тому, що експертні оцінки і переваги між альтернативами можуть бути суб'єктивними та неоднозначними. Різні експерти можуть мати різні точки зору та представляти різні інтереси, що може призводити до неузгодженості результатів.

Вибір може бути зроблений просто з огляду на минулий досвід лідера, тобто на майстерність керівника. Переважне судження лідера та зміна шкали можуть вплинути на останній наслідок АНР. Для n критеріїв потрібно $n(n-1)/2$ кореляцій. У випадку, якщо оцінка з n кроків, то кількість парних кореляцій збільшується, що призводить до нерегулярності або розчарування алгоритму АНР; тоді останній результат може бути неточним.[3]

Крім того, навіть коли попарні порівняння надані експертами, можуть виникати проблеми зі суперечливістю або неузгодженістю цих оцінок. Наприклад, можуть виникати протиріччя в порівняннях, коли одна альтернатива вважається кращою за іншу експертом А, але гіршою за цю альтернативу експертом В.

Також існує проблема обробки та аналізу великої кількості попарних порівнянь, особливо якщо їх надає кілька експертів. Розрахунок ваг альтернатив та отримання узгодженого ранжування може бути складним і часоємним завданням.

Таким чином, проблема полягає в розробці методу, який би враховував суб'єктивність експертних оцінок, вирішував проблему неузгодженості та забезпечував ефективний аналіз та ранжування альтернатив для прийняття обґрунтованих рішень.

1.3 Використане рішення

Метод аналізу ієрархій (АНР) пропонує підхід, який дозволяє вирішити проблему ранжування альтернатив та підвищення його узгодженості. Він базується на ієрархічній структурі, де альтернативи розглядаються на різних рівнях ієрархії залежно від їх характеристик і критеріїв.

Багатокритеріальне прийняття рішень (БПР) є однією з найважливіших галузей дослідження операцій і має справу з проблемами, які включають декілька суперечливих цілей. Очевидно, що коли в проблемі існує більше, ніж одна мета, прийняття рішення стає більш складним. MCDM - це і підхід, і набір методів, що мають на меті забезпечити загальне впорядкування варіантів, від найбільш бажаного до найменш бажаного. [4]

Основний принцип методу полягає в тому, що експерти надають попарні порівняння між альтернативами на кожному рівні ієрархії. Ці порівняння виражаються за допомогою шкали переваг, яка зазвичай використовується на основі шкали Сааті (значення від 1 до 9).

Найпопулярнішою шкалою переваг, що використовується для порівняння альтернатив, є, мабуть, оригінальна шкала Сааті, представлена в [2] (1 означає рівність двох порівнюваних альтернатив, значення 2, 3, ..., 9 - це послідовні ступені переваги). Було запропоновано багато інших шкал та підходів до побудови таких шкал

Після отримання попарних порівнянь, використовуються математичні методи для обчислення ваг альтернатив на основі цих порівнянь. Одним з основних методів є обчислення нормалізованого власного вектора матриці попарних порівнянь, який представляє міри важливості для кожної альтернативи.

Додатково, використовуються методи перевірки узгодженості, які дозволяють оцінити, наскільки консистентними є надані попарні порівняння. Це допомагає виявити можливі суперечності та неузгодженості в експертних оцінках і уникнути непослідовних результатів.

РОЗДІЛ 2. Метод аналізу ієрархій та його обмеження

2.1 Обмеження МАІ

МАІ дозволяє структурувати складні проблеми та розбити їх на більш прості елементи, що полегшує аналіз та вибір оптимального рішення. Використання парних порівнянь дозволяє врахувати суб'єктивні оцінки експертів та ефективно визначити вагомість критеріїв та альтернатив.

Однак, метод також має свої обмеження. Він припускає лінійні залежності та не враховує складних нелінійних зв'язків між критеріями та альтернативами. Результати МАІ можуть бути чутливі до вхідних даних та початкових оцінок, що може вплинути на кінцевий вибір. Також, інтерпретація результатів може бути складною через структуру ієрархії та вагових коефіцієнтів.

АНР використовує точні якості для суджень.

Тобто, у корисних випадках, людські емоції є неясними, і керівники можуть бути не в змозі зафіксувати ретельні числові якості в оцінках експертизи. Для цієї ситуації АНР не є суттєвим.

Він може розв'язувати лише прямі моделі, тобто ті, чий результат точно відповідає його інформації.

Він не може розв'язувати непрямі моделі, тобто ті, чий результати не є прямо пропорційними до його інформації.[3]

Враховуючи ці обмеження, важливо мати на увазі контекст та обставини при застосуванні МАІ. Необхідно регулярно оновлювати та переглядати результати, змінювати вхідні дані та оцінки відповідно до змін у ситуації та потреб. Крім того, розуміння інструменту та уміння правильно інтерпретувати результати є важливими для ефективного використання МАІ.

2.2 Контекст та обставини застосування МАІ

У світі, де швидкість змін зростає, прийняття найкращих рішень є вимогливим завданням. Метод аналізу ієрархій стає корисним інструментом для допомоги в прийнятті обґрунтованих рішень. Він надає структурований підхід до аналізу проблем та ранжування альтернатив, забезпечуючи більш об'єктивний підхід до прийняття рішень.

Метод аналізу ієрархій дозволяє систематизувати складність проблеми шляхом розбиття її на більш прості компоненти. Він допомагає визначити вагомість критеріїв та альтернатив шляхом порівняння їх в парах. Це дає змогу встановити пріоритети та вирішити, які альтернативи найбільш відповідають поставленим критеріям.

У своїй загальній формі АНР є нелінійною структурою для здійснення як дедуктивного, так і індуктивного мислення без використання міркувань шляхом одночасного врахування декількох факторів, врахування залежності та зворотного зв'язку, а також шляхом чисельних компромісів для досягнення синтезу або висновку.[5]

Тому, для ефективного використання методу аналізу ієрархій важливо постійно оновлювати та переглядати результати, змінювати вхідні дані та оцінки відповідно до змін у ситуації та контексту. Також необхідно мати критичне мислення та уміння аналізувати та інтерпретувати результати з урахуванням обмежень методу.

Висновуючи, метод аналізу ієрархій є цінним інструментом, який допомагає у прийнятті обґрунтованих рішень. Проте, він вимагає обережного підходу та усвідомлення його обмежень. Його ефективність залежить від правильного застосування відповідно до конкретної ситуації, використання точних та об'єктивних даних, а також уміння аналізувати та інтерпретувати результати. Для досягнення найкращих результатів, рекомендується також залучати експертів з різних галузей та враховувати їхні знання та досвід.

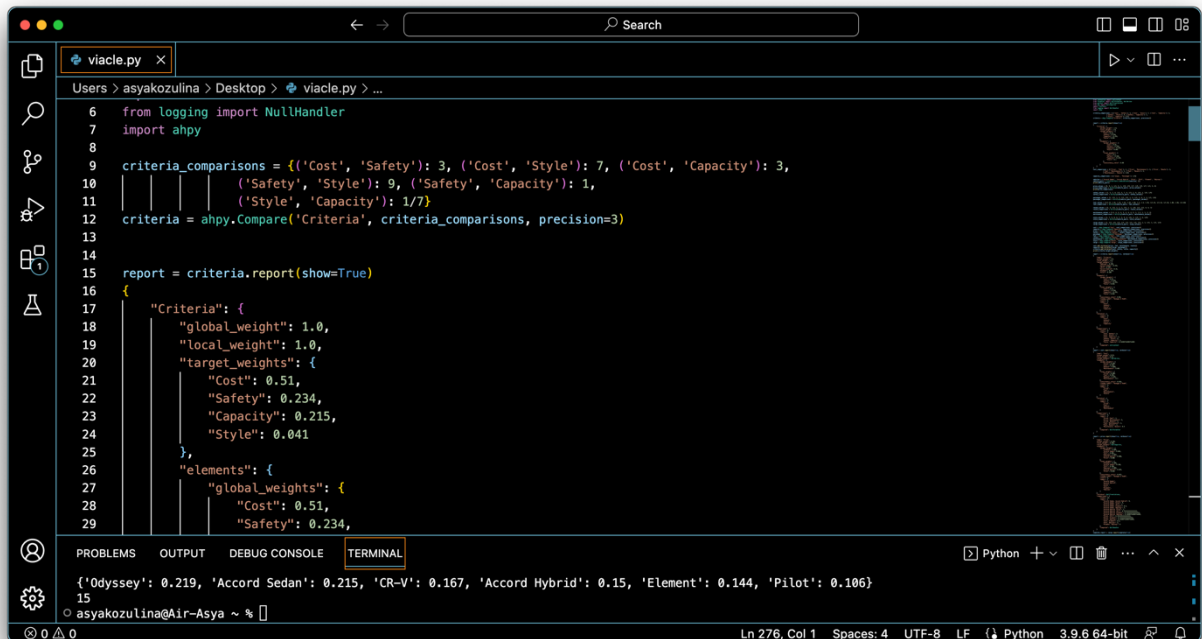
2.3 Висновки до розділу

Важливо пам'ятати, що метод аналізу ієрархій є лише інструментом, а реальне прийняття рішень залежить від розуміння контексту, експертного знання та інтуїції. Враховуючи обмеження методу та постійно оновлюючи його результати, ми можемо зробити більш обґрунтовані та ефективні рішення.

Отже, використання методу аналізу ієрархій може покращити якість прийняття рішень, проте його успішне застосування вимагає уважного аналізу, постійного оновлення та врахування контексту. Залежно від конкретної ситуації та завдання, МАІ може бути важливим інструментом для досягнення успіху в прийнятті рішень.

РОЗДІЛ 3. Огляд технічного рішення.

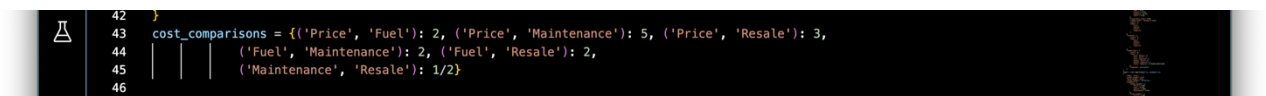
Програмне рішення було реалізовано на мові програмування Python за допомогою бібліотеки АНРу.



```
6 from logging import NullHandler
7 import ahpy
8
9 criteria_comparisons = {('Cost', 'Safety'): 3, ('Cost', 'Style'): 7, ('Cost', 'Capacity'): 3,
10 | ('Safety', 'Style'): 9, ('Safety', 'Capacity'): 1,
11 | ('Style', 'Capacity'): 1/7}
12 criteria = ahpy.Compare('Criteria', criteria_comparisons, precision=3)
13
14
15 report = criteria.report(show=True)
16
17 {
18   "Criteria": {
19     "global_weight": 1.0,
20     "local_weight": 1.0,
21     "target_weights": {
22       "Cost": 0.51,
23       "Safety": 0.234,
24       "Capacity": 0.215,
25       "Style": 0.041
26     },
27     "elements": {
28       "global_weights": {
29         "Cost": 0.51,
30         "Safety": 0.234,
```

```
PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL
Python + - [ ] ... ^ x
{ 'Odyssey': 0.219, 'Accord Sedan': 0.215, 'CR-V': 0.167, 'Accord Hybrid': 0.15, 'Element': 0.144, 'Pilot': 0.106 }
15
asyakozulina@Air-Asya ~ %
```

1. Визначення порівнянь критеріїв:
 - o `criteria_comparisons`: словник, що містить порівняння між критеріями та їх значеннями відносно важливості.
 - o `criteria`: об'єкт класу `Compare` з бібліотеки `ahpy`, який представляє критерії та їх порівняння.
2. Виведення звіту про критерії:
`report = criteria.report(show=True)`: отримання звіту про критерії та їх ваги.



```
42 }
43 cost_comparisons = {('Price', 'Fuel'): 2, ('Price', 'Maintenance'): 5, ('Price', 'Resale'): 3,
44 | ('Fuel', 'Maintenance'): 2, ('Fuel', 'Resale'): 2,
45 | ('Maintenance', 'Resale'): 1/2}
46
```

Визначення порівнянь для категорії "Cost".

```
16
17     "Criteria": {
18         "global_weight": 1.0,
19         "local_weight": 1.0,
20         "target_weights": {
21             "Cost": 0.51,
22             "Safety": 0.234,
23             "Capacity": 0.215,
24             "Style": 0.041
25         },
26         "elements": {
27             "global_weights": {
28                 "Cost": 0.51,
29                 "Safety": 0.234,
30                 "Capacity": 0.215,
31                 "Style": 0.041
32             },
33             "local_weights": {
34                 "Cost": 0.7,
35                 "Safety": 0.345,
36                 "Capacity": 0.115,
37                 "Style": 0.1
38             },
39             "consistency_ratio": 0.08
40         }
41     }
42 }
```

```
Python 3.9.6 64-bit
{'Odyssey': 0.219, 'Accord Sedan': 0.215, 'CR-V': 0.167, 'Accord Hybrid': 0.15, 'Element': 0.144, 'Pilot': 0.106}
```

Це звіт, отриманий після виконання аналізу ієрархії критеріїв:

У цьому звіті містяться наступні відомості:

global_weight: Загальна вага критеріїв у глобальному контексті. У цьому випадку загальна вага критеріїв дорівнює 1.0.

local_weight: Локальна вага критеріїв. У цьому випадку локальна вага критеріїв також дорівнює 1.0.

target_weights: Цільові ваги для підкритеріїв. Кожен підкритерій має свою цільову вагу, яка вказує, наскільки важливим є цей підкритерій у порівнянні з іншими. У цьому звіті підкритерії "Cost", "Safety", "Capacity" і "Style" мають наступні цільові ваги відповідно: 0.51, 0.234, 0.215, 0.041.

elements: Інформація про ваги критеріїв та їх узгодженість.

global_weights: Глобальні ваги для кожного критерію. У цьому звіті глобальні ваги для критеріїв "Cost", "Safety", "Capacity" і "Style" відповідно становлять: 0.51, 0.234, 0.215, 0.041.

local_weights: Локальні ваги для кожного критерію. У цьому звіті локальні ваги для критеріїв "Cost", "Safety", "Capacity" і "Style".

Загальний звіт показує ієрархію критеріїв, їх глобальні та локальні ваги, цільові ваги підкритеріїв та показник узгодженості. Ці відомості допомагають у процесі прийняття рішень, оцінюванні та порівнянні альтернатив з урахуванням заданих критеріїв.

```

42 }
43 cost_comparisons = {('Price', 'Fuel'): 2, ('Price', 'Maintenance'): 5, ('Price', 'Resale'): 3,
44                     ('Fuel', 'Maintenance'): 2, ('Fuel', 'Resale'): 2,
45                     ('Maintenance', 'Resale'): 1/2}
46
47 capacity_comparisons = {('Cargo', 'Passenger'): 1/5}
48

```

Даний код представляє порівняння між підкритеріями в категорії "Cost" (витрати) і "Capacity" (вмістимість).

`cost_comparisons` - це словник, в якому ключі представлені у вигляді кортежів, що містять пари підкритеріїв, наприклад, ('Price', 'Fuel'), ('Price', 'Maintenance'), ('Price', 'Resale'), тощо. Значення, що відповідають цим ключам, представляють силу порівняння між підкритеріями. Наприклад, у випадку ('Price', 'Fuel') значення дорівнює 2, що означає, що "Price" в два рази важливіший, ніж "Fuel".

`capacity_comparisons` - це також словник, але в даному випадку містить порівняння між підкритеріями в категорії "Capacity". І єдине порівняння, що представлено, це ('Cargo', 'Passenger'), і його значення дорівнює 1/5. Це означає, що "Cargo" менш важливий, ніж "Passenger" у п'ять разів.

Такі порівняння використовуються для визначення відносних ваг підкритеріїв в рамках аналізу багатокритеріального вибору.

```

72 style_values = (1, 1, 5, 9, 6, 1, 5, 9, 6, 1/6, 3, 1/3, 1, 5, 1/5)
73 style_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, style_values))
74
75 cargo_values = (1, 1/2, 1/2, 1/2, 1/3, 1/2, 1/2, 1/2, 1/3, 1, 1, 1/2, 1, 1/2, 1/2)
76 cargo_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, cargo_values))
77
78 cost = ahpy.Compare('Cost', cost_comparisons, precision=3)
79 capacity = ahpy.Compare('Capacity', capacity_comparisons, precision=3)
80 price = ahpy.Compare('Price', price_comparisons, precision=3)
81 safety = ahpy.Compare('Safety', safety_comparisons, precision=3)
82 passenger = ahpy.Compare('Passenger', passenger_comparisons, precision=3)
83 fuel = ahpy.Compare('Fuel', fuel_comparisons, precision=3)
84 resale = ahpy.Compare('Resale', resale_comparisons, precision=3)
85 maintenance = ahpy.Compare('Maintenance', maintenance_comparisons, precision=3)
86 style = ahpy.Compare('Style', style_comparisons, precision=3)
87 cargo = ahpy.Compare('Cargo', cargo_comparisons, precision=3)
88
89 cost.add_children([price, fuel, maintenance, resale])
90 capacity.add_children([cargo, passenger])
91 criteria.add_children([cost, safety, style, capacity])
92 print(criteria.target_weights)
93
94 report = criteria.report(show=True, verbose=True)
95
96 {
97     "name": "Criteria",
98     ...
99 }

```

Terminal Output:

```

{'Odyssey': 0.219, 'Accord Sedan': 0.215, 'CR-V': 0.167, 'Accord Hybrid': 0.15, 'Element': 0.144, 'Pilot': 0.106}

```

Наведений код використовує модуль `itertools` для створення комбінацій пар автомобілів зі списку `vehicles`. Далі, за допомогою функції `zip`, значення зі

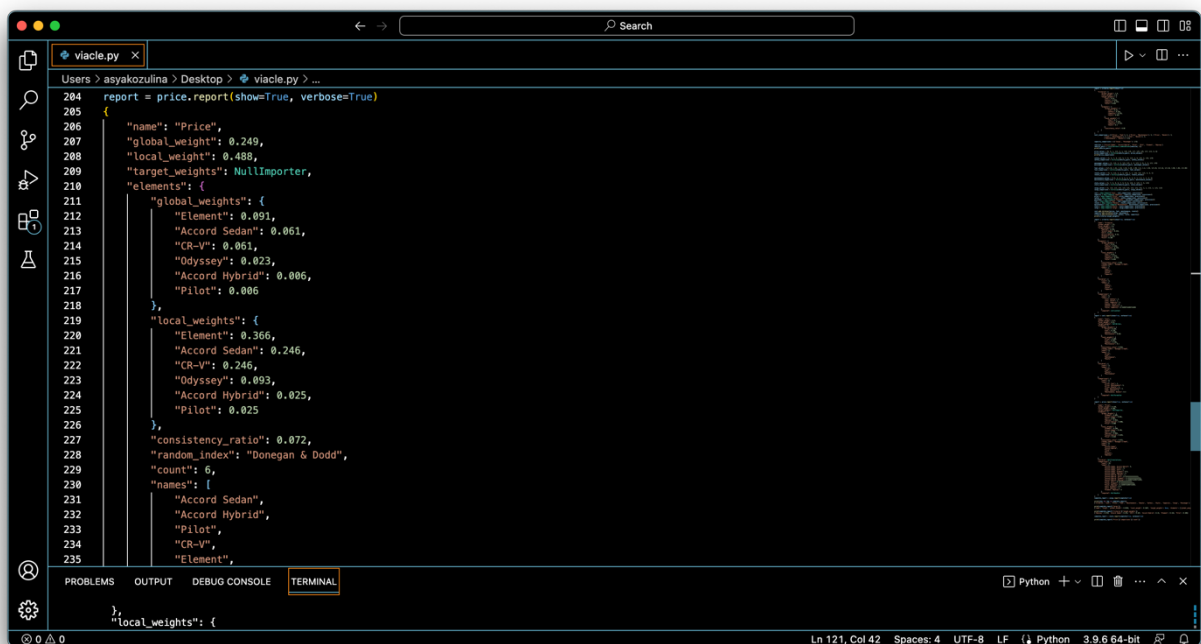
списків price_values, safety_values, passenger_values, fuel_values, resale_values, maintenance_values, style_values та cargo_values поелементно з'єднуються зі створеними парами автомобілів.

Основна ідея полягає в тому, щоб утворити словники, де ключами будуть пари автомобілів, а значеннями - сила порівняння між ними відповідно до кожного підкритерію.



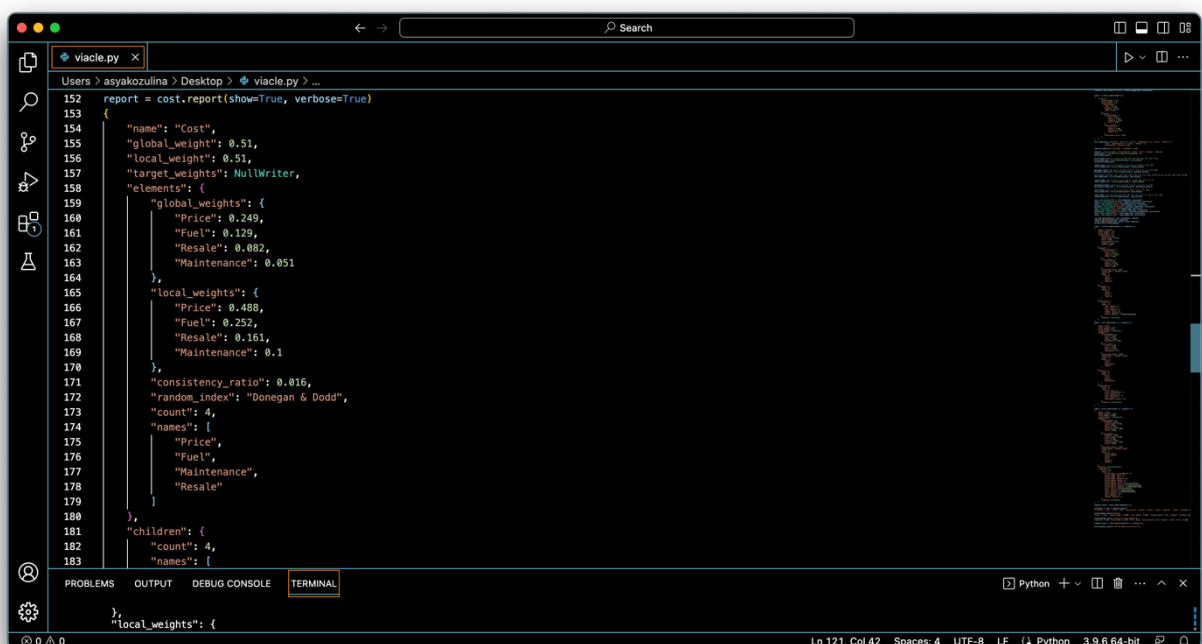
```
93
94 report = criteria.report(show=True, verbose=True)
95
96 {
97     "name": "Criteria",
98     "global_weight": 1.0,
99     "local_weight": 1.0,
100     "target_weights": {
101         "Odyssey": 0.219,
102         "Accord Sedan": 0.215,
103         "CR-V": 0.167,
104         "Accord Hybrid": 0.15,
105         "Element": 0.144,
106         "Pilot": 0.106
107     },
108     "elements": {
109         "global_weights": {
110             "Cost": 0.51,
111             "Safety": 0.234,
112             "Capacity": 0.215,
113             "Style": 0.041
114         },
115         "local_weights": {
116             "Cost": 0.51,
117             "Safety": 0.234,
118             "Capacity": 0.215,
119             "Style": 0.041
120         },
121         "consistency_ratio": 0.08,
122         "random_index": "Donegan & Dodd",
123         "count": 4,
124         "names": [
125             "Cost",
126             "Safety",
127             "Capacity",
128             "Style"
129         ]
130     }
131 }
```

Цей код представляє результат виклику методу report на об'єкті criteria. Метод report повертає звіт про критерії, включаючи глобальну вагу, локальну вагу, цільові ваги для кожного елемента, глобальні ваги елементів, локальні ваги елементів, відношення консистентності та порівняння.



```
284 report = price.report(show=True, verbose=True)
285
286 {
287     "name": "Price",
288     "global_weight": 0.249,
289     "local_weight": 0.488,
290     "target_weights": NullImporter,
291     "elements": {
292         "global_weights": {
293             "Element": 0.091,
294             "Accord Sedan": 0.061,
295             "CR-V": 0.061,
296             "Odyssey": 0.023,
297             "Accord Hybrid": 0.006,
298             "Pilot": 0.006
299         },
300         "local_weights": {
301             "Element": 0.366,
302             "Accord Sedan": 0.246,
303             "CR-V": 0.246,
304             "Odyssey": 0.093,
305             "Accord Hybrid": 0.025,
306             "Pilot": 0.025
307         },
308         "consistency_ratio": 0.072,
309         "random_index": "Donegan & Dodd",
310         "count": 6,
311         "names": [
312             "Accord Sedan",
313             "Accord Hybrid",
314             "Pilot",
315             "CR-V",
316             "Element"
317         ]
318     }
319 }
```

Цей код представляє результат виклику методу `report` на об'єкті `cost`. Метод `report` повертає звіт про критерій "Cost", включаючи глобальну вагу, локальну вагу, глобальні ваги елементів, локальні ваги елементів, відношення консистентності та порівняння.



```
152 report = cost.report(show=True, verbose=True)
153 {
154     "name": "Cost",
155     "global_weight": 0.51,
156     "local_weight": 0.51,
157     "target_weights": NullWriter,
158     "elements": {
159         "global_weights": {
160             "Price": 0.249,
161             "Fuel": 0.129,
162             "Resale": 0.002,
163             "Maintenance": 0.051
164         },
165         "local_weights": {
166             "Price": 0.488,
167             "Fuel": 0.252,
168             "Resale": 0.161,
169             "Maintenance": 0.1
170         },
171         "consistency_ratio": 0.016,
172         "random_index": "Donegan & Dodd",
173         "count": 4,
174         "names": [
175             "Price",
176             "Fuel",
177             "Maintenance",
178             "Resale"
179         ]
180     },
181     "children": {
182         "count": 4,
183         "names": [
184             "local_weights": {
```

Цей код представляє результат виклику методу `report` на об'єкті `price`. Метод `report` повертає звіт про критерій "Price", включаючи глобальну вагу, локальну вагу, глобальні ваги елементів, локальні ваги елементів, відношення консистентності та порівняння.



```
Users > asyakozulina > Desktop > viacle.py > ...
258         element, 'odyssey': 0
259     },
260     "computed": NullHandler
261 }
262 complete_report = cargo.report(complete=True)
263
264 print([key for key in complete_report])
265 ['Criteria', 'Cost', 'Price', 'Fuel', 'Maintenance', 'Resale', 'Safety', 'Style', 'Capacity', 'Cargo', 'Passenger']
266
267 print(complete_report['Cargo'])
268 {'name': 'Cargo', 'global_weight': 0.0358, 'local_weight': 0.1667, 'target_weights': None, 'elements': {'global_weights': {'Odyssey': 0.219, 'Accord Sedan': 0.215, 'CR-V': 0.167, 'Accord Hybrid': 0.15, 'Element': 0.144, 'Pilot': 0.106}, 'local_weights': {'Odyssey': 0.219, 'Accord Sedan': 0.215, 'CR-V': 0.167, 'Accord Hybrid': 0.15, 'Element': 0.144, 'Pilot': 0.106}}}
269
270 print(complete_report['Criteria']['target_weights'])
271 {'Odyssey': 0.219, 'Accord Sedan': 0.215, 'CR-V': 0.167, 'Accord Hybrid': 0.15, 'Element': 0.144, 'Pilot': 0.106}
272
273 complete_report = style.report(complete=True, verbose=True)
274
275 print(complete_report['Price']['comparisons']['count'])
276
277
278
```

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE **TERMINAL** Python + - - - ^ x

```
{'Odyssey': 0.219, 'Accord Sedan': 0.215, 'CR-V': 0.167, 'Accord Hybrid': 0.15, 'Element': 0.144, 'Pilot': 0.106}
15
o asyakozulina@Air-Asya ~ %
```

Ln 276, Col 1 Spaces: 4 UTF-8 LF Python 3.9.6 64-bit

Заданий код містить додатковий звіт про критерії "Cargo", "Criteria" та "Style".
Давайте розглянемо кожен з них окремо:

`complete_report['Cargo']:`

"name" - назва критерію ("Cargo")

"global_weight" - глобальна вага (0.0358)

"local_weight" - локальна вага (0.1667)

"target_weights" - None

"elements" - дані про елементи:

"global_weights" - глобальні ваги елементів

"local_weights" - локальні ваги елементів

"consistency_ratio" - відношення консистентності

`complete_report['Criteria']['target_weights']:`

"Odyssey" - вага для елемента "Odyssey" (0.219)

"Accord Sedan" - вага для елемента "Accord Sedan" (0.215)

"CR-V" - вага для елемента "CR-V" (0.167)

"Accord Hybrid" - вага для елемента "Accord Hybrid" (0.15)

"Element" - вага для елемента "Element" (0.144)

"Pilot" - вага для елемента "Pilot" (0.106)

`complete_report = style.report(complete=True, verbose=True):`

Звіт про критерій "Style" з включеним параметром `verbose=True`. Вихідний звіт не наданий, але код виводить значення "count" з розділу "comparisons" критерію "Price". Значення "count" вказує на кількість порівнянь, але конкретне число не вказано в зазначеному коді.

Висновок

Проблема, яку розглядає метод аналізу ієрархій (АНР) для ранжування альтернатив та підвищення його узгодженості, полягає в тому, що прийняття оптимальних рішень стає все складнішим завданням в умовах зростаючої складності світу. Керівники компаній, державних установ та інші особи, які приймають рішення, все більше вимагають аналітичних та кількісних інструментів для підтримки своїх рішень.

Метод аналізу ієрархій є одним з методів аналізу рішень, який може допомогти вирішити цю проблему. Він базується на тому, що прийняття рішень повинно ґрунтуватися на обґрунтованій основі, а не на суб'єктивних судженнях та почуттях.

АНР дозволяє оцінювати та порівнювати альтернативи з урахуванням різних критеріїв та їх важливості. Цей метод дозволяє керівникам встановити ієрархію цілей та критеріїв, порівняти їх між собою і призначити їм ваги. Застосовуючи АНР, можна отримати багатокритеріальний рейтинг альтернатив і прийняти обґрунтоване рішення.

Однак, МАІ може вимагати значної кількості оцінок від користувача, особливо при багатокритеріальних проблемах з великою кількістю критеріїв та варіантів. Це може стати завантажливим завданням для керівника, і може бути потрібна автоматизація процесу або встановлення порогових значень для автоматичного вирішення деяких парних порівнянь.

Метод аналізу ієрархій є потужним інструментом для аналізу рішень, особливо у випадках, коли проблема має багато критеріїв та варіантів. Він дозволяє керівникам систематично оцінювати та порівнювати альтернативи, враховуючи їх важливість.

Один з головних переваг методу аналізу ієрархій полягає у тому, що він забезпечує структурований підхід до прийняття рішень. Шляхом розбиття проблеми на ієрархічні рівні, він дозволяє керівнику аналізувати проблему на різних рівнях деталей, починаючи від загальних цілей і закінчуючи конкретними альтернативами. Це сприяє більш глибокому розумінню проблеми та більш обґрунтованому прийняттю рішень.

Крім того, метод аналізу ієрархій дозволяє враховувати суб'єктивні оцінки експертів або керівників. Вони можуть вносити свої власні оцінки та порівнювати альтернативи згідно зі своїм досвідом та знаннями. Це дозволяє враховувати людський фактор у процесі прийняття рішень.

Однак, важливо враховувати, що метод аналізу ієрархій може бути часо- та ресурсоємним завданням, особливо при великій кількості критеріїв та альтернатив. Оцінка попарних переваг вимагає часу та уваги від керівника. Крім того, існує можливість суб'єктивних спотворень або неправильних оцінок, які можуть вплинути на кінцевий результат.

Важливо пам'ятати, що метод аналізу ієрархій є лише інструментом, а реальне прийняття рішення вимагає більш широкого підходу. Декілька додаткових аспектів, які слід враховувати при використанні методу аналізу ієрархій, включають:

1. Врахування додаткової інформації: Метод аналізу ієрархій надає кількісні оцінки та ваги для критеріїв та альтернатив, але врахування додаткової інформації може бути необхідним. Додаткові фактори, такі як бюджетні обмеження, технічні обмеження, соціальні аспекти тощо, також повинні бути враховані при прийнятті рішення.
2. Ризики та необхідність альтернативних підходів: У реальному світі рішення можуть бути суперечливими та пов'язаними з ризиками. Важливо враховувати можливі наслідки та ризики прийнятих рішень. Іноді можуть знадобитися альтернативні підходи для розгляду різних сценаріїв та варіантів.
3. Участь зацікавлених сторін: Вирішення складних проблем та прийняття рішень часто вимагають участі різних зацікавлених сторін. Залучення експертів, керівників та інших зацікавлених сторін може допомогти збагнути різні точки зору, враховувати різні перспективи та покращити якість прийнятих рішень.
4. Постійне оновлення та перегляд: У світі, де швидкість змін зростає, рішення повинні бути гнучкими та піддаються оновленню.

Використані джерела:

1. Zeshui X., Cuiping W. A consistency improving method in the analytic hierarchy process. European journal of operational research. 1999. No. 116. P. 443–449.
2. Saaty T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York : McGraw-Hill International Book Co., 1980. 287 p.
3. Karthikeyan R., Venkatesan K., Chandrasekar A. A comparison of strengths and weaknesses for analytical hierarchy process. Journal of chemical and pharmaceutical sciences. 2016.
4. Oguztimur S. Why fuzzy analytic hierarchy process approach for transport problems?. Beşiktaş/İstanbul - Turkey. (Preprint. Yıldız Technical University Department of City and Regional Planning). URL: <http://core.ac.uk>.
5. Satyendra. The analytic hierarchy process. URL: <https://www.ispatguru.com/the-analytic-hierarchy-process/>.

Додаток А.

```
from contextlib import nullcontext
from formatter import NullFormatter, NullWriter
from gettext import NullTranslations
from imp import NullImporter
import itertools
from logging import NullHandler
import ahpy

criteria_comparisons = {('Cost', 'Safety'): 3, ('Cost', 'Style'): 7, ('Cost',
'Capacity'): 3,
                        ('Safety', 'Style'): 9, ('Safety', 'Capacity'): 1,
                        ('Style', 'Capacity'): 1/7}
criteria = ahpy.Compare('Criteria', criteria_comparisons, precision=3)

report = criteria.report(show=True)
{
    "Criteria": {
        "global_weight": 1.0,
        "local_weight": 1.0,
        "target_weights": {
            "Cost": 0.51,
            "Safety": 0.234,
            "Capacity": 0.215,
            "Style": 0.041
        },
        "elements": {
            "global_weights": {
                "Cost": 0.51,
                "Safety": 0.234,
                "Capacity": 0.215,
                "Style": 0.041
            },
            "local_weights": {
                "Cost": 0.7,
                "Safety": 0.345,
                "Capacity": 0.115,
                "Style": 0.1
            },
            "consistency_ratio": 0.08
        }
    }
}

cost_comparisons = {('Price', 'Fuel'): 2, ('Price', 'Maintenance'): 5, ('Price',
'Resale'): 3,
                    ('Fuel', 'Maintenance'): 2, ('Fuel', 'Resale'): 2,
                    ('Maintenance', 'Resale'): 1/2}

capacity_comparisons = {('Cargo', 'Passenger'): 1/5}

vehicles = ('Accord Sedan', 'Accord Hybrid', 'Pilot', 'CR-V', 'Element', 'Odyssey')
vehicle_pairs = list(itertools.combinations(vehicles, 2))
```

```

print(vehicle_pairs)

price_values = (9, 9, 1, 1/2, 5, 1, 1/9, 1/9, 1/7, 1/9, 1/9, 1/7, 1/2, 5, 6)
price_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, price_values))
print(price_comparisons)

safety_values = (1, 5, 7, 9, 1/3, 5, 7, 9, 1/3, 2, 9, 1/8, 2, 1/8, 1/9)
safety_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, safety_values))

passenger_values = (1, 1/2, 1, 3, 1/2, 1/2, 1, 3, 1/2, 2, 6, 1, 3, 1/2, 1/6)
passenger_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, passenger_values))

fuel_values = (1/1.13, 1.41, 1.15, 1.24, 1.19, 1.59, 1.3, 1.4, 1.35, 1/1.23, 1/1.14,
1/1.18, 1.08, 1.04, 1/1.04)
fuel_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, fuel_values))

resale_values = (3, 4, 1/2, 2, 2, 2, 1/5, 1, 1, 1/6, 1/2, 1/2, 4, 4, 1)
resale_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, resale_values))

maintenance_values = (1.5, 4, 4, 4, 5, 4, 4, 4, 5, 1, 1.2, 1, 1, 3, 2)
maintenance_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, maintenance_values))

style_values = (1, 7, 5, 9, 6, 7, 5, 9, 6, 1/6, 3, 1/3, 7, 5, 1/5)
style_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, style_values))

cargo_values = (1, 1/2, 1/2, 1/2, 1/3, 1/2, 1/2, 1/2, 1/3, 1, 1, 1/2, 1, 1/2, 1/2)
cargo_comparisons = dict(zip(vehicle_pairs, cargo_values))

cost = ahpy.Compare('Cost', cost_comparisons, precision=3)
capacity = ahpy.Compare('Capacity', capacity_comparisons, precision=3)
price = ahpy.Compare('Price', price_comparisons, precision=3)
safety = ahpy.Compare('Safety', safety_comparisons, precision=3)
passenger = ahpy.Compare('Passenger', passenger_comparisons, precision=3)
fuel = ahpy.Compare('Fuel', fuel_comparisons, precision=3)
resale = ahpy.Compare('Resale', resale_comparisons, precision=3)
maintenance = ahpy.Compare('Maintenance', maintenance_comparisons, precision=3)
style = ahpy.Compare('Style', style_comparisons, precision=3)
cargo = ahpy.Compare('Cargo', cargo_comparisons, precision=3)

cost.add_children([price, fuel, maintenance, resale])
capacity.add_children([cargo, passenger])
criteria.add_children([cost, safety, style, capacity])
print(criteria.target_weights)

report = criteria.report(show=True, verbose=True)
{
    "name": "Criteria",
    "global_weight": 1.0,
    "local_weight": 1.0,
    "target_weights": {
        "Odyssey": 0.219,
        "Accord Sedan": 0.215,
        "CR-V": 0.167,
        "Accord Hybrid": 0.15,
        "Element": 0.144,

```

```

        "Pilot": 0.106
    },
    "elements": {
        "global_weights": {
            "Cost": 0.51,
            "Safety": 0.234,
            "Capacity": 0.215,
            "Style": 0.041
        },
        "local_weights": {
            "Cost": 0.51,
            "Safety": 0.234,
            "Capacity": 0.215,
            "Style": 0.041
        },
        "consistency_ratio": 0.08,
        "random_index": "Donegan & Dodd",
        "count": 4,
        "names": [
            "Cost",
            "Safety",
            "Style",
            "Capacity"
        ]
    },
    "children": {
        "count": 4,
        "names": [
            "Cost",
            "Safety",
            "Style",
            "Capacity"
        ]
    },
    "comparisons": {
        "count": 6,
        "input": {
            "Cost, Safety": 3,
            "Cost, Style": 7,
            "Cost, Capacity": 3,
            "Safety, Style": 9,
            "Safety, Capacity": 1,
            "Style, Capacity": 0.14285714285714285
        },
        "computed": nullcontext
    }
}

report = cost.report(show=True, verbose=True)
{
    "name": "Cost",
    "global_weight": 0.51,
    "local_weight": 0.51,
    "target_weights": NullWriter,
    "elements": {
        "global_weights": {

```

```

        "Price": 0.249,
        "Fuel": 0.129,
        "Resale": 0.082,
        "Maintenance": 0.051
    },
    "local_weights": {
        "Price": 0.488,
        "Fuel": 0.252,
        "Resale": 0.161,
        "Maintenance": 0.1
    },
    "consistency_ratio": 0.016,
    "random_index": "Donegan & Dodd",
    "count": 4,
    "names": [
        "Price",
        "Fuel",
        "Maintenance",
        "Resale"
    ]
},
"children": {
    "count": 4,
    "names": [
        "Price",
        "Fuel",
        "Resale",
        "Maintenance"
    ]
},
"comparisons": {
    "count": 6,
    "input": {
        "Price, Fuel": 2,
        "Price, Maintenance": 5,
        "Price, Resale": 3,
        "Fuel, Maintenance": 2,
        "Fuel, Resale": 2,
        "Maintenance, Resale": 0.5
    },
    "computed": NullFormatter
}
}

report = price.report(show=True, verbose=True)
{
    "name": "Price",
    "global_weight": 0.249,
    "local_weight": 0.488,
    "target_weights": NullImporter,
    "elements": {
        "global_weights": {
            "Element": 0.091,
            "Accord Sedan": 0.061,
            "CR-V": 0.061,

```

```

        "Odyssey": 0.023,
        "Accord Hybrid": 0.006,
        "Pilot": 0.006
    },
    "local_weights": {
        "Element": 0.366,
        "Accord Sedan": 0.246,
        "CR-V": 0.246,
        "Odyssey": 0.093,
        "Accord Hybrid": 0.025,
        "Pilot": 0.025
    },
    "consistency_ratio": 0.072,
    "random_index": "Donegan & Dodd",
    "count": 6,
    "names": [
        "Accord Sedan",
        "Accord Hybrid",
        "Pilot",
        "CR-V",
        "Element",
        "Odyssey"
    ]
},
"children": NullTranslations,
"comparisons": {
    "count": 15,
    "input": {
        "Accord Sedan, Accord Hybrid": 9,
        "Accord Sedan, Pilot": 9,
        "Accord Sedan, CR-V": 1,
        "Accord Sedan, Element": 0.5,
        "Accord Sedan, Odyssey": 5,
        "Accord Hybrid, Pilot": 1,
        "Accord Hybrid, CR-V": 0.1111111111111111,
        "Accord Hybrid, Element": 0.1111111111111111,
        "Accord Hybrid, Odyssey": 0.14285714285714285,
        "Pilot, CR-V": 0.1111111111111111,
        "Pilot, Element": 0.1111111111111111,
        "Pilot, Odyssey": 0.14285714285714285,
        "CR-V, Element": 0.5,
        "CR-V, Odyssey": 5,
        "Element, Odyssey": 6
    },
    "computed": NullHandler
}
}
complete_report = cargo.report(complete=True)

print([key for key in complete_report])
['Criteria', 'Cost', 'Price', 'Fuel', 'Maintenance', 'Resale', 'Safety', 'Style',
'Capacity', 'Cargo', 'Passenger']

print(complete_report['Cargo'])

```



```

{'name': 'Cargo', 'global_weight': 0.0358, 'local_weight': 0.1667, 'target_weights':
None, 'elements': {'global_weights': {'Odyssey': 0.011, 'Pilot': 0.006, 'CR-V': 0.006,
'Element': 0.006, 'Accord Sedan': 0.003, 'Accord Hybrid': 0.003}, 'local_weights':
{'Odyssey': 0.311, 'Pilot': 0.17, 'CR-V': 0.17, 'Element': 0.17, 'Accord Sedan': 0.089,
'Accord Hybrid': 0.089}, 'consistency_ratio': 0.002}}

print(complete_report['Criteria']['target_weights'])
{'Odyssey': 0.219, 'Accord Sedan': 0.215, 'CR-V': 0.167, 'Accord Hybrid': 0.15,
'Element': 0.144, 'Pilot': 0.106}

complete_report = style.report(complete=True, verbose=True)

print(complete_report['Price']['comparisons']['count'])

```