Ayrık Matematik

Yüklemler ve Kümeler

H. Turgut Uyar   Ayşegül Gençata Yayımlı   Emre Harmancı

2001-2011

Lisans

Konular

Yüklem

Tanım

yüklem:

- bir ya da birden fazla değişken içeren ve
- bir önerme olmayan ama
- değişkenlere izin verilen seçenekler arasından değer verildiğinde önerme haline gelen

bir bildirim (*açık bildirim*)

Çalışma Evreni

Tanım
çalışma evreni: $\mathcal{U}$
izin verilen seçenekler kümesi

- örnek çalışma evrenleri:
  - $\mathbb{Z}$: tamsayılar
  - $\mathbb{N}$: doğal sayılar
  - $\mathbb{Z}^+$: pozitif tamsayılar
  - $\mathbb{Q}$: rasyonel sayılar
  - $\mathbb{R}$: reel sayılar
  - $\mathbb{C}$: karmaşık sayılar

Yüklem Örnekleri

Örnek
$\mathcal{U} = \mathbb{N}$
$p(x)$: $x + 2$ bir çift sayıdır

$p(5)$: Y
$p(8)$: D

$\neg p(x)$: $x + 2$ bir çift sayı değildir

Örnek
$\mathcal{U} = \mathbb{N}$
$q(x, y)$: $x + y$ ve $x - 2y$ birer çift sayıdır

$q(11, 3)$: Y, $q(14, 4)$: D

Niceleyiciler

Tanım
varlık niceleyicisi:
yüklem bazı değerler için doğru

- simgesi: $\exists$
- okunuşu: *vardır*
- simge: $\exists!$
- okunuşu: *vardır ve tektir*

Tanım
evrensel niceleyici:
yüklem bütün değerler için doğru

- simgesi: $\forall$
- okunuşu: *her*

Niceleyiciler

varlık niceleyicisi
$\mathcal{U} = \{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$
$\exists x \; p(x) \equiv p(x_1) \vee p(x_2) \vee \cdots \vee p(x_n)$

- *bazı x'ler için $p(x)$ doğru*

evrensel niceleyici
$\mathcal{U} = \{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$
$\forall x \; p(x) \equiv p(x_1) \wedge p(x_2) \wedge \cdots \wedge p(x_n)$

- *her x için $p(x)$ doğru*

Niceleyici Örnekleri

Örnek

$\mathcal{U} = \mathbb{R}$

- $p(x) : x \geq 0$
- $q(x) : x^2 \geq 0$
- $r(x) : (x-4)(x+1) = 0$
- $s(x) : x^2 - 3 > 0$

şeklinde tanımlandıysa yandaki ifadelerin sonuçları ne olur?

- $\exists x \; [p(x) \land r(x)]$
- $\forall x \; [p(x) \rightarrow q(x)]$
- $\forall x \; [q(x) \rightarrow s(x)]$
- $\forall x \; [r(x) \lor s(x)]$
- $\forall x \; [r(x) \rightarrow p(x)]$

Niceleyicilerin Değillenmesi

- $\forall$ yerine $\exists$, $\exists$ yerine $\forall$ konur
- yüklem değillenir

$$\begin{aligned} \neg\exists x \; p(x) &\Leftrightarrow \forall x \; \neg p(x) \\ \neg\exists x \; \neg p(x) &\Leftrightarrow \forall x \; p(x) \\ \neg\forall x \; p(x) &\Leftrightarrow \exists x \; \neg p(x) \\ \neg\forall x \; \neg p(x) &\Leftrightarrow \exists x \; p(x) \end{aligned}$$

Niceleyicilerin Değillenmesi

Teorem

$\neg\exists x \; p(x) \Leftrightarrow \forall x \; \neg p(x)$

Tanıt.

$$\begin{aligned} \neg\exists x \; p(x) &\equiv \neg[p(x_1) \lor p(x_2) \lor \cdots \lor p(x_n)] \\ &\Leftrightarrow \neg p(x_1) \land \neg p(x_2) \land \cdots \land \neg p(x_n) \\ &\equiv \forall x \; \neg p(x) \end{aligned}$$

□

Niceleyici Eşdeğerlilikleri

Teorem

$\exists x \; [p(x) \lor q(x)] \Leftrightarrow \exists x \; p(x) \lor \exists x \; q(x)$

Teorem

$\forall x \; [p(x) \land q(x)] \Leftrightarrow \forall x \; p(x) \land \forall x \; q(x)$

Niceleyici Gerektirmeleri

Teorem
$\forall x\ p(x) \Rightarrow \exists x\ p(x)$

Teorem
$\exists x\ [p(x) \wedge q(x)] \Rightarrow \exists x\ p(x) \wedge \exists x\ q(x)$

Teorem
$\forall x\ p(x) \vee \forall x\ q(x) \Rightarrow \forall x\ [p(x) \vee q(x)]$

Çoklu Niceleyiciler

- $\exists x \exists y\ p(x, y)$
- $\forall x \exists y\ p(x, y)$
- $\exists x \forall y\ p(x, y)$
- $\forall x \forall y\ p(x, y)$

Çoklu Niceleyici Örnekleri

Örnek
$\mathcal{U} = \mathbb{Z}$
$p(x, y) : x + y = 17$

- $\forall x \exists y\ p(x, y)$:
  her x için öyle bir y bulunabilir ki $x + y = 17$ olur
- $\exists y \forall x\ p(x, y)$:
  öyle bir y bulunabilir ki her x için $x + y = 17$ olur
- $\mathcal{U} = \mathbb{N}$ olsa?

Çoklu Niceleyiciler

Örnek
$\mathcal{U}_x = \{1, 2\} \wedge \mathcal{U}_y = \{A, B\}$

$$\begin{aligned}
\exists x \exists y\ p(x, y) &\equiv [p(1, A) \vee p(1, B)] \vee [p(2, A) \vee p(2, B)] \\
\exists x \forall y\ p(x, y) &\equiv [p(1, A) \wedge p(1, B)] \vee [p(2, A) \wedge p(2, B)] \\
\forall x \exists y\ p(x, y) &\equiv [p(1, A) \vee p(1, B)] \wedge [p(2, A) \vee p(2, B)] \\
\forall x \forall y\ p(x, y) &\equiv [p(1, A) \wedge p(1, B)] \wedge [p(2, A) \wedge p(2, B)]
\end{aligned}$$

Kaynaklar

Okunacak: Grimaldi

- Chapter 2: Fundamentals of Logic
  - 2.4. The Use of Quantifiers

Yardımcı Kitap: O'Donnell, Hall, Page

- Chapter 7: Predicate Logic

Küme

Tanım

küme:

- birbirinden ayırt edilebilen
- aralarında sıralama yapılmamış
- yinelenmeyen

elemanlar topluluğu

Küme Gösterilimi

- *açık gösterilim*
  elemanlar süslü parantezler içinde listelenir: $\{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$
- *kapalı gösterilim*
  bir yüklemi doğru kılan elemanlar: $\{x | x \in G, p(x)\}$
- $\emptyset$: boş küme
- S bir küme, a bir nesne ise:
  - $a \in S$: a nesnesi S kümesinin bir elemanıdır
  - $a \notin S$: a nesnesi S kümesinin bir elemanı değildir

Açık Gösterilim Örnekleri

Örnek

$\{3, 8, 2, 11, 5\}$

$11 \in \{3, 8, 2, 11, 5\}$

Kapalı Gösterilim Örnekleri

Örnek

$\{x|x \in \mathbb{Z}^+, 20 < x^3 < 100\} \equiv \{3, 4\}$
$\{2x - 1|x \in \mathbb{Z}^+, 20 < x^3 < 100\} \equiv \{5, 7\}$

Örnek

$A = \{x|x \in \mathbb{R}, 1 \leq x \leq 5\}$

Örnek

$E = \{n|n \in \mathbb{N}, \exists k \in \mathbb{N}\ [n = 2k]\}$
$A = \{x|x \in E, 1 \leq x \leq 5\}$

Küme İkilemi

- bir köyde bir berber kendini traş etmeyen herkesi traş ediyor kendisini traş edenleri traş etmiyor

  bu berber kendisini traş eder mi?
- *etmez*: kendisini traş etmeyen herkesi traş ediyor $\rightarrow$ eder
- *eder*: kendisini traş edenleri traş etmiyor $\rightarrow$ etmez

Küme İkilemi

- S bir kümeler kümesi
- kendisinin elemanı olmayan kümeler kümesi:
  $S = \{A|A \notin A\}$

  S kendisinin elemanı mıdır?
- *evet*: yüklemi sağlamaz $\rightarrow$ hayır
- *hayır*: yüklemi sağlar $\rightarrow$ evet

Sonlu Küme

Tanım

sayılabilen küme:
elemanları numaralandırılabilen küme

- $\mathbb{R}$ kümesi sayılamaz

Tanım

sonlu küme:
sayılabilen ve eleman sayısı sonlu olan küme

- $\mathbb{N}$ kümesi sayılabilir ama sonlu değildir
- eleman sayısı: kardinalite, gösterilim: $|S|$

Altküme

Tanım

$A \subseteq B \Leftrightarrow \forall x\ [x \in A \rightarrow x \in B]$

- küme eşitliği:
  $A = B \Leftrightarrow (A \subseteq B) \wedge (B \subseteq A)$
- uygun altküme:
  $A \subset B \Leftrightarrow (A \subseteq B) \wedge (A \neq B)$
- $\forall S\ [\emptyset \subseteq S]$

Altküme

altküme değil

$$
\begin{aligned}
A \nsubseteq B \quad & \Leftrightarrow \quad \neg\forall x\ [x \in A \rightarrow x \in B] \\
& \Leftrightarrow \quad \exists x\ \neg[x \in A \rightarrow x \in B] \\
& \Leftrightarrow \quad \exists x\ \neg[\neg(x \in A) \vee (x \in B)] \\
& \Leftrightarrow \quad \exists x\ [(x \in A) \wedge \neg(x \in B)] \\
& \Leftrightarrow \quad \exists x\ [(x \in A) \wedge (x \notin B)]
\end{aligned}
$$

Altkümeler Kümesi

Tanım

altkümeler kümesi:
bir kümenin, boş küme ve kendisi dahil, bütün altkümelerinin oluşturduğu küme

- gösterilimi: $\mathcal{P}(S)$
- n elemanlı bir kümenin altkümeler kümesinin 2^n elemanı vardır

Altkümeler Kümesi Örneği

Örnek

$$
\begin{aligned}
\mathcal{P}(\{1,2,3\}) = \{ & \\
& \emptyset \\
& \{1\}, \{2\}, \{3\} \\
& \{1,2\}, \{1,3\}, \{2,3\} \\
& \{1,2,3\} \\
\} &
\end{aligned}
$$

Küme İşlemleri

tümleme
$\overline{A} = \{x | x \notin A\}$

kesişim
$A \cap B = \{x | (x \in A) \wedge (x \in B)\}$

- $A \cap B = \emptyset$ ise A ile B ayrık kümeler

birleşim
$A \cup B = \{x | (x \in A) \vee (x \in B)\}$

Küme İşlemleri

fark
$A - B = \{x | (x \in A) \wedge (x \notin B)\}$

- $A - B = A \cap \overline{B}$
- *bakışımlı fark*:
  $A \triangle B = \{x | (x \in A \cup B) \wedge (x \notin A \cap B)\}$

Kartezyen Çarpım

Tanım
kartezyen çarpım:
$A \times B = \{(a, b) | a \in A, b \in B\}$

$A \times B \times C \cdots \times N = \{(a, b, \dots, n) | a \in A, b \in B, \dots, n \in N\}$

Kartezyen Çarpım Örneği

Örnek
$A = \{a_1 . a_2, a_3, a_4\}$
$B = \{b_1, b_2, b_3\}$

$$
\begin{aligned}
A \times B = \{ & \\
& (a_1, b_1), (a_1, b_2), (a_1, b_3), \\
& (a_2, b_1), (a_2, b_2), (a_2, b_3), \\
& (a_3, b_1), (a_3, b_2), (a_3, b_3), \\
& (a_4, b_1), (a_4, b_2), (a_4, b_3) \\
\} &
\end{aligned}
$$

Eşdeğerlilikler

çifte tümleme
$\overline{\overline{A}} = A$

değişme
$A \cap B = B \cap A$ $A \cup B = B \cup A$

birleşme
$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$ $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$

sabit kuvvetlilik
$A \cap A = A$ $A \cup A = A$

terslik
$A \cap \overline{A} = \emptyset$ $A \cup \overline{A} = U$

Eşdeğerlilikler

etkisizlik
$A \cap U = A$ $A \cup \emptyset = A$

baskınlık
$A \cap \emptyset = \emptyset$ $A \cup U = U$

dağılma
$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$ $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$

yutma
$A \cap (A \cup B) = A$ $A \cup (A \cap B) = A$

De Morgan
$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$ $\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$

De Morgan Kuralı

Tanıt.

$$\begin{aligned}
\overline{A \cap B} &= \{x | x \notin (A \cap B)\} \\
&= \{x | \neg(x \in (A \cap B))\} \\
&= \{x | \neg((x \in A) \wedge (x \in B))\} \\
&= \{x | \neg(x \in A) \vee \neg(x \in B)\} \\
&= \{x | (x \notin A) \vee (x \notin B)\} \\
&= \{x | (x \in \overline{A}) \vee (x \in \overline{B})\} \\
&= \{x | x \in \overline{A} \cup \overline{B}\} \\
&= \overline{A} \cup \overline{B}
\end{aligned}$$

□

Eşdeğerlilik Örneği

Teorem
$A \cap (B - C) = (A \cap B) - (A \cap C)$

Eşdeğerlilik Örneği

Tanıt.

$$
\begin{aligned}
(A \cap B) - (A \cap C) &= (A \cap B) \cap \overline{(A \cap C)} \\
&= (A \cap B) \cap (\overline{A} \cup \overline{C}) \\
&= ((A \cap B) \cap \overline{A}) \cup ((A \cap B) \cap \overline{C}) \\
&= \emptyset \cup ((A \cap B) \cap \overline{C}) \\
&= (A \cap B) \cap \overline{C} \\
&= A \cap (B \cap \overline{C}) \\
&= A \cap (B - C)
\end{aligned}
$$

□

İçleme-Dışlama İlkesi

- $|A \cup B| = |A| + |B| - |A \cap B|$
- $|A \cup B \cup C| =$
  $|A| + |B| + |C| - (|A \cap B| + |A \cap C| + |B \cap C|) + |A \cap B \cap C|$

Teorem

$$
\begin{aligned}
|A_1 \cup A_2 \cup \cdots \cup A_n| &= \sum_i |A_i| - \sum_{i,j} |A_i \cap A_j| \\
&\quad + \sum_{i,j,k} |A_i \cap A_j \cap A_k| \\
&\quad \cdots + -1^{n-1} |A_i \cap A_j \cap \cdots \cap A_n|
\end{aligned}
$$

İçleme-Dışlama İlkesi Örneği

Örnek (Eratosthenes Kalburu)

- asal sayıları bulmak için bir yöntem

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			

2	3		5		7		9		11		13		15		17
	19		21		23		25		27		29				

2	3		5		7				11		13				17
	19				23		25				29				

2	3		5		7				11		13				17
	19				23						29				

İçleme-Dışlama İlkesi Örneği

Örnek (Eratosthenes Kalburu)

- 1'den 100'e kadar asal sayıların sayısı
- 2, 3, 5 ve 7'ye bölünemeyen sayılar
  - A_2: 2'ye bölünen sayılar kümesi
  - A_3: 3'e bölünen sayılar kümesi
  - A_5: 5'e bölünen sayılar kümesi
  - A_7: 7'ye bölünen sayılar kümesi
- $|A_2 \cup A_3 \cup A_5 \cup A_7|$

İçleme-Dışlama İlkesi Örneği

Örnek (Eratosthenes Kalburu)

- $|A_2| = \lfloor 100/2 \rfloor = 50$
- $|A_3| = \lfloor 100/3 \rfloor = 33$
- $|A_5| = \lfloor 100/5 \rfloor = 20$
- $|A_7| = \lfloor 100/7 \rfloor = 14$

- $|A_2 \cap A_3| = \lfloor 100/6 \rfloor = 16$
- $|A_2 \cap A_5| = \lfloor 100/10 \rfloor = 10$
- $|A_2 \cap A_7| = \lfloor 100/14 \rfloor = 7$
- $|A_3 \cap A_5| = \lfloor 100/15 \rfloor = 6$
- $|A_3 \cap A_7| = \lfloor 100/21 \rfloor = 4$
- $|A_5 \cap A_7| = \lfloor 100/35 \rfloor = 2$

İçleme-Dışlama İlkesi Örneği

Örnek (Eratosthenes Kalburu)

- $|A_2 \cap A_3 \cap A_5| = \lfloor 100/30 \rfloor = 3$
- $|A_2 \cap A_3 \cap A_7| = \lfloor 100/42 \rfloor = 2$
- $|A_2 \cap A_5 \cap A_7| = \lfloor 100/70 \rfloor = 1$
- $|A_3 \cap A_5 \cap A_7| = \lfloor 100/105 \rfloor = 0$

- $|A_2 \cap A_3 \cap A_5 \cap A_7| = \lfloor 100/210 \rfloor = 0$

İçleme-Dışlama İlkesi Örneği

Örnek (Eratosthenes Kalburu)

$$\begin{aligned}
|A_2 \cup A_3 \cup A_5 \cup A_7| &= (50 + 33 + 20 + 14) \\
&- (16 + 10 + 7 + 6 + 4 + 2) \\
&+ (3 + 2 + 1 + 0) \\
&- (0) \\
&= 78
\end{aligned}$$

- asalların sayısı: $(100 - 78) + 4 - 1 = 25$

Kaynaklar

Okunacak: Grimaldi

- Chapter 3: Set Theory
  - 3.1. Sets and Subsets
  - 3.2. Set Operations and the Laws of Set Theory
- Chapter 8: The Principle of Inclusion and Exclusion
  - 8.1. The Principle of Inclusion and Exclusion

Yardımcı Kitap: O'Donnell, Hall, Page

- Chapter 8: Set Theory