CS251: Introduction to Language Processing

Bottom-Up Parsing

Vishwesh Jatala

Department of CSE
Indian Institute of Technology Bhilai
vishwesh@iitbhilai.ac.in



Acknowledgement

- Today's slides are modified from that of Stanford University:
 - https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs143/cs 143.1128/

Recap

- LR(0) only accepts languages where the handle can be found with no right context.
- SLR(1) is more powerful than LR(0) but is weaker than LR(1) as it has no contextual information.
- LR(1): Substantially more powerful than the other methods we've covered so far (more on that later).
 - Tries to more intelligently find handles by using a lookahead token at each step.

Recap

- Each state in an LR(1) automaton is a combination of an LR(0) state and lookahead information.
- Two LR(1) items have the same core if they are identical except for lookahead.

```
T \rightarrow (\cdot E) $
E \rightarrow \cdot E + T )
E \rightarrow \cdot T )
T \rightarrow \cdot int )
T \rightarrow \cdot (E)
```

```
T \rightarrow (\cdot E) )

E \rightarrow \cdot E + T )

E \rightarrow \cdot T )

T \rightarrow \cdot int )

T \rightarrow \cdot (E) )
```

LR(1) Automata are Huge

- In a grammar with n terminals, could in theory be $O(2^n)$ times as large as the LR(0) automaton.
 - Replicate each state with all O(2ⁿ) possible lookaheads.
- LR(1) tables for practical programming languages can have hundreds of thousands or even *millions* of states.
- Consequently, LR(1) parsers are rarely used in practice.

What next?

- In an LR(1) automaton, we have multiple states with the same core but different lookahead.
- What if we merge all these states together?
- This is called LALR
 - Lookahead LR

```
S \rightarrow E
E \rightarrow L = R
From LR(1) to LALR(1)
E \rightarrow R
L \rightarrow id
L \rightarrow *R
R \rightarrow L
```

 $S \rightarrow E$ From LR(1) to LALR(1) $E \rightarrow L = R$ $E \rightarrow R$ $E \rightarrow L = R \cdot \$$ R $\textbf{L} \rightarrow \textbf{id}$ $E \rightarrow L = \cdot R$ $L \rightarrow *R$ $R \rightarrow L$ \$ ightharpoonup R
ightharpoonup $L \rightarrow \cdot id\$$ $R \rightarrow L$ $I \rightarrow \star R$ \$ $S \rightarrow \cdot E$ \$ F $S \rightarrow \cdot E \$$ $E \rightarrow L \cdot = R \$$ id $E \rightarrow \cdot L = R \$$ $R \rightarrow L^{\cdot}$ \$ $L \rightarrow \cdot \star R$ $E \rightarrow \cdot R$ start = \$ $E \rightarrow R \cdot $$ $L \rightarrow id$ $R \rightarrow L$ \$ R $L \rightarrow \cdot id$ $L \rightarrow$ *R.\$ $I \rightarrow *R$ id $L \rightarrow *R$ R $R \rightarrow L \dot{s}$ L → *R • $L \rightarrow id$ $L \rightarrow \cdot id =$ id $L \rightarrow \cdot \star R$ $R \rightarrow$ $L \rightarrow \cdot id\$$ id · L· R

 $S \rightarrow E$ From LR(1) to LALR(1) $E \rightarrow L = R$ $E \rightarrow R$ $E \rightarrow L = R \cdot \$$ R $\textbf{L} \rightarrow \textbf{id}$ $E \rightarrow L = \cdot R$ \$ $L \rightarrow *R$ \$ $R \rightarrow L$ ightharpoonup R
ightharpoonup\$ \$ $L \rightarrow \cdot id$ $R \rightarrow L$ $I \rightarrow *R$ $S \rightarrow \cdot E$ \$ F $S \rightarrow \cdot E$ $E \rightarrow L \cdot = R \$$ id $E \rightarrow \cdot L = R \$$ $R \rightarrow L$ $L \rightarrow \cdot \star R$ $E \rightarrow R$ start = \$ $E \rightarrow R \cdot \$$ $L \rightarrow id$ $R \rightarrow L$ \$ R $L \rightarrow \cdot id$ *R.\$ $I \rightarrow *R$ id R $R \rightarrow \cdot L$ \$ $\Gamma \rightarrow iq$ $L \rightarrow \cdot id$ id $L \to \text{id}$ \$ $L \rightarrow \cdot \star R$ = $R \to L \cdot$ $L \rightarrow \cdot id$ $R \rightarrow L$

 $S \rightarrow E$ From LR(1) to LALR(1) $E \rightarrow L = R$ $E \rightarrow R$ $E \rightarrow L = R \cdot \$$ R $\textbf{L} \rightarrow \textbf{id}$ $E \rightarrow L = \cdot R$ \$ $L \rightarrow *R$ \$ $R \rightarrow \cdot L$ ightharpoonup R
ightharpoonup\$ \$ $L \rightarrow \cdot id$ $R \rightarrow L$ $I \rightarrow *R$ $S \rightarrow \cdot E$ \$ F $S \rightarrow \cdot E$ $E \rightarrow L \cdot = R \$$ id $E \rightarrow \cdot L = R \$$ $R \rightarrow L$ $L \rightarrow \cdot \star R$ $E \rightarrow \cdot R$ start = **E** → R ·\$ $L \to \text{id}$ \$ $R \rightarrow L$ \$ R $L \rightarrow \cdot id$ $I \rightarrow \star R$ id \$ $R \rightarrow \cdot L$ $L \rightarrow id$ $\mathsf{L} o \cdot \mathtt{id}$ id $L \rightarrow id$. \$ = \$ $R \rightarrow L$ \$ $\rightarrow \cdot *R$

 $S \rightarrow E$ From LR(1) to LALR(1) $E \rightarrow L = R$ $E \rightarrow R$ $E \rightarrow L = R \cdot \$$ R $\textbf{L} \rightarrow \textbf{id}$ $E \rightarrow L = \cdot R$ $L \rightarrow *R$ $R \rightarrow L$ \$ ightharpoonup R
ightharpoonup $L \rightarrow \cdot id\$$ $R \rightarrow L$ $I \rightarrow \star R$ \$ $S \rightarrow \cdot E$ \$ F $S \rightarrow \cdot E \$$ $E \rightarrow L \cdot = R \$$ id $E \rightarrow \cdot L = R \$$ $R \rightarrow L^{\cdot}$ \$ $L \rightarrow \cdot \star R$ $E \rightarrow \cdot R$ start = **E** → R ·\$ $L \to \text{id}$ \$ $R \rightarrow L$ \$ R $L \rightarrow \cdot id$ $I \rightarrow \star R$ $L \rightarrow *R$. L→*R· id $R \rightarrow L$ \$ $\mathsf{L} \to \mathsf{id}$ $L \rightarrow \cdot id =$ id $L \to \text{id}$ \$ \$ $R \rightarrow L$ \$

 $S \rightarrow E$ From LR(1) to LALR(1) $E \rightarrow L = R$ $E \rightarrow R$ $E \rightarrow L = R \cdot \$$ R $\textbf{L} \rightarrow \textbf{id}$ $E \rightarrow L = \cdot R$ $L \rightarrow *R$ $R \rightarrow L$ \$ ightharpoonup R
ightharpoonup $L \rightarrow \cdot id\$$ $R \rightarrow L$ $I \rightarrow \star R$ \$ $S \rightarrow \cdot E$ \$ F $S \rightarrow \cdot E \$$ $E \rightarrow L \cdot = R \$$ id $E \rightarrow \cdot L = R \$$ $R \rightarrow L^{\cdot}$ \$ $L \rightarrow \cdot \star R$ $E \rightarrow \cdot R$ start = ► E → R ·\$ $L \rightarrow id$ $R \rightarrow L$ \$ R $L \rightarrow \cdot id$ $I \rightarrow \star R$ $L \rightarrow *R$. L→*R· id $R \rightarrow L$ \$ $\Gamma \rightarrow iq$. $L \rightarrow \cdot id =$ id $L \to \text{id}$ \$ $R \rightarrow L$

 $S \rightarrow E$ From LR(1) to LALR(1) $E \rightarrow L = R$ $E \rightarrow R$ $E \rightarrow L = R \cdot \$$ R $\textbf{L} \rightarrow \textbf{id}$ $E \rightarrow L = \cdot R$ $L \rightarrow *R$ $R \rightarrow L$ \$ ightharpoonup R
ightharpoonup $L \rightarrow \cdot id\$$ $R \rightarrow L$ $S \rightarrow \cdot E\$$ $I \rightarrow \star R$ \$ id F $S \rightarrow \cdot E \$$ $E \rightarrow L \cdot = R \$$ $E \rightarrow \cdot L = R \$$ $R \rightarrow L^{\cdot}$ \$ $L \rightarrow \cdot \star R$ $L \rightarrow \cdot id$ $E \rightarrow \cdot R$ extstyle extstart id id = $R \rightarrow L$ \$ \blacksquare E \rightarrow R \cdot \$ R $L \rightarrow \cdot id$ $I \rightarrow \star R$ $L \rightarrow *R$. id $L \rightarrow * \cdot R$ L→*R· R $R \rightarrow \cdot L =$ $R \rightarrow L$ \$ $L \rightarrow \cdot id =$ $R \rightarrow L$ $I \rightarrow \cdot \star R$ $R \rightarrow L$ \$

 $S \rightarrow E$ From LR(1) to LALR(1) $E \rightarrow L = R$ $E \rightarrow R$ $E \rightarrow L = R \cdot \$$ R $\textbf{L} \rightarrow \textbf{id}$ $E \rightarrow L = \cdot R$ $L \rightarrow *R$ $R \rightarrow L$ \$ ightharpoonup R
ightharpoonup $L \rightarrow \cdot id\$$ $R \rightarrow L$ $S \rightarrow \cdot E\$$ $I \rightarrow \star R$ \$ id F $S \rightarrow \cdot E \$$ $E \rightarrow L \cdot = R \$$ $E \rightarrow \cdot L = R \$$ $R \rightarrow L^{\cdot}$ \$ $L \rightarrow \cdot \star R$ $L \to {}^{\textstyle \cdot}\text{id}$ $\mathsf{E} \to \mathsf{R}$ $L \to {}^{\textstyle \cdot}\text{id}$ start id i d = $R \rightarrow L$ \$ **►** E → R ·\$ R $L \rightarrow \cdot id$ $I \rightarrow \star R$ $L \rightarrow *R$ id $L \rightarrow * \cdot R$ L→*R· R $R \rightarrow \cdot L =$ $R \rightarrow L$ \$ $L \rightarrow \cdot id =$ $R \rightarrow L$ $I \rightarrow \cdot \star R$ $R \rightarrow L$ \$

S′ → **S**

S → CC

C →cC|d

Exercise: Construct DFA for LR(1)

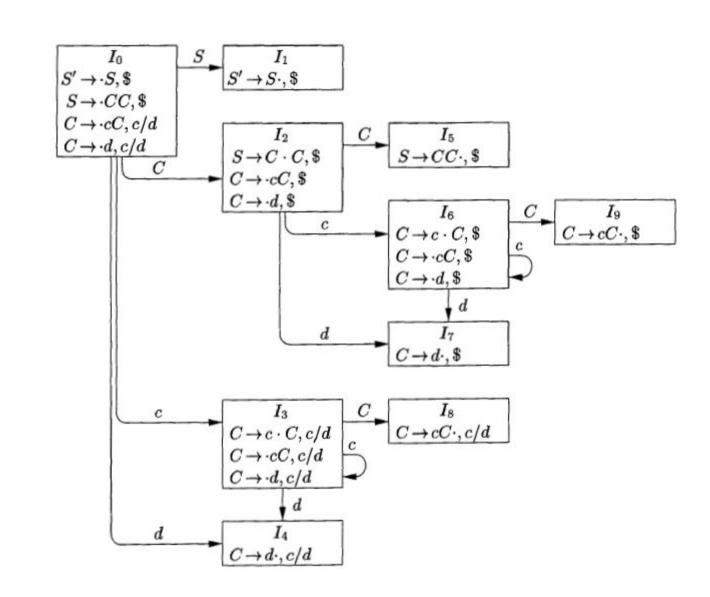


Figure source: Suggested course textbook

S′ → **S**

 $S \to CC$

S' → S
S → CC
C →cC d

STATE	A	CTIC	GOTO		
	c	\overline{d}	\$	S	C
0	s3	s4		1	2
1			acc		
2	s6	s7			5
3	s3	s4			8
4	r3	r3	9	ł	
5			r1		
6	s6	s7	9		9
7			r3		
8	r2	r2	.2073 ()		
9			r2		

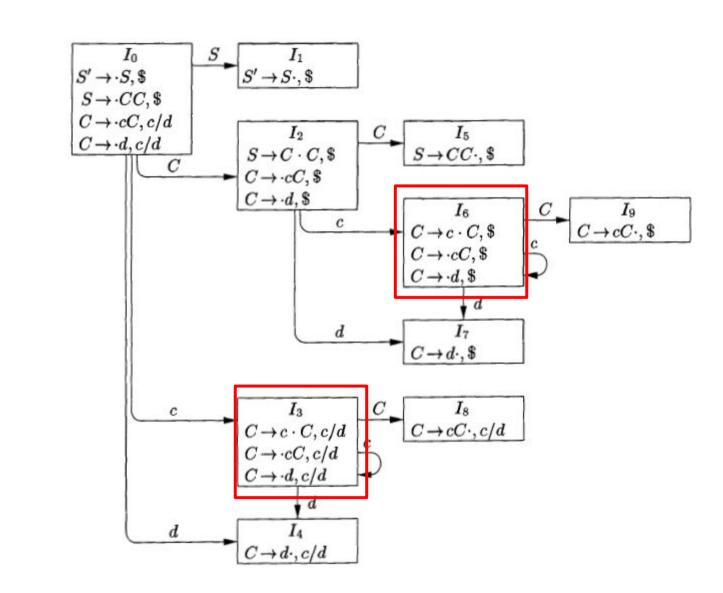


Figure source: Suggested course textbook

 $S' \rightarrow S$

 $S \to CC$

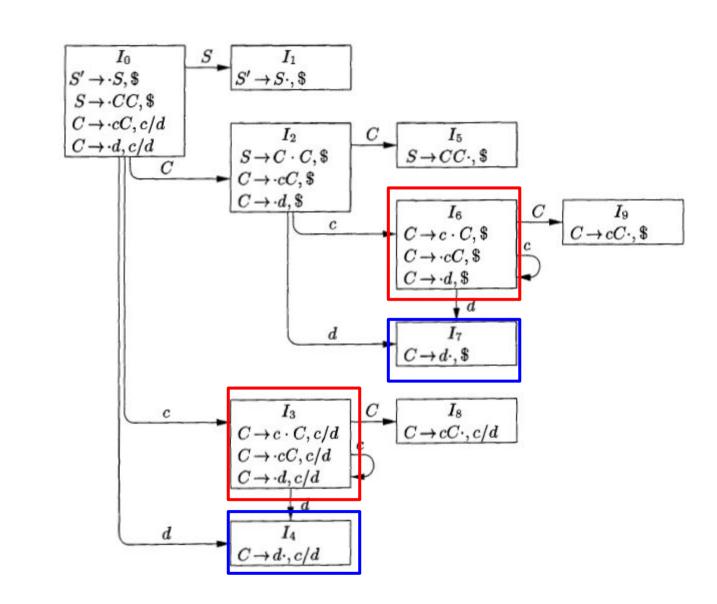


Figure source: Suggested course textbook

 $S' \rightarrow S$

 $S \to CC$

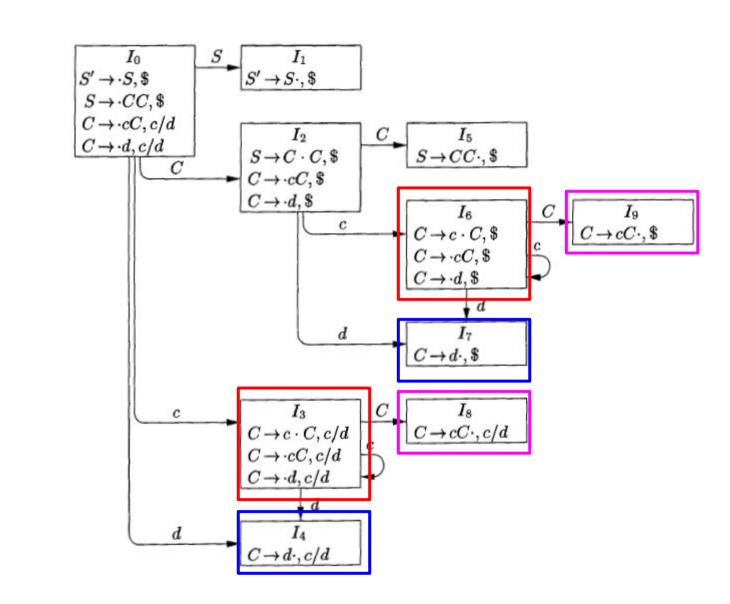


Figure source: Suggested course textbook

S′ → **S**

 $S \to CC$

 $\begin{array}{l} \textbf{S'} \rightarrow \textbf{S} \\ \textbf{S} \rightarrow \textbf{CC} \\ \textbf{C} \rightarrow \textbf{cC} | \textbf{d} \end{array}$

STATE	A	GOTO			
DIALE	c	d	\$	S	C
0	s36	s47		1	2
1	}		acc		
2	s36	s47			5
36	s36	s47			89
47	r3	r3	r3		
5			r1		
89	r2	r2	r2		

Advantages of LALR(1)

- Maintains context.
- Keeps automaton small.
 - Resulting automaton has same size as LR(0) automaton.

LALR(1) is Powerful

- Every LR(0) grammar is LALR(1).
- Every SLR(1) grammar is LALR(1)
- Most (but not all) LR(1) grammars are LALR(1).

LALR(1) isn't LR(1)

- Merging LR(1) states can introduce a reduce/reduce conflict.
- Often these conflicts appear without any good
- reason; this is one limitation of LALR(1).

Merging LR(1) states cannot introduce a shift/reduce conflict.

Why? Exercise

Summary of LALR(1)

- One of the most popular parsing algorithms in use today.
- Produced by the bison parser generator; rarely generated by hand.
- Can handle most, but not all, LR(1) languages.

Practical Concerns

Where Theory Meets Practice

- We've just covered six powerful parsing algorithms:
 - Leftmost DFS
 - . LL(1)
 - LR(0)
 - . SLR(1)
 - . LALR(1)
 - . LR(1)
- How do we make them work in practice?

Two Practical Concerns

Ambiguity

- . Real grammars are often ambiguous.
- Programmers are terrible at eliminating it.
- How do you build a parser to try to combat it?

Error-handling

- How do you report errors intelligently?
- How do you continue parsing after an error?

Ambiguity and Predictive Parsing

- The predictive parsers we have seen so far (LL(1), LR(0), SLR(1), LALR(1), LR(1)) only work on unambiguous grammars.
 - Intuitively: if grammar is ambiguous, cannot uniquely guess which production/reduction to use.
 - Formally proving this is somewhat involved.
- Most grammars for programming languages, unless cleverly written, are ambiguous.
- How can we handle this?

Parsing Ambiguous Grammars

Consider this simple grammar for arithmetic expressions:

```
S \rightarrow E
E \rightarrow E + E
E \rightarrow E * E
E \rightarrow int
E \rightarrow (E)
```

- This grammar is ambiguous.
 - e.g. Two trees for int + int * int
- What happens if we try parsing it?

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

$$\begin{bmatrix}
E \rightarrow E * E \\
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow E \cdot * E
\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
E \rightarrow (\cdot E) \\
E \rightarrow \cdot E + E \\
E \rightarrow \cdot E * E
\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
E \rightarrow (E \cdot) \\
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow E \cdot * E
\end{bmatrix}$$

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$$
 .

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int}$$

FOLLOW	(S) :	= { \$	}
--------	---------------	--------	---

$$FOLLOW(\mathbf{E}) = \{ +, *,), \$ \}$$

	int	+	*	()	\$ Е
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int}$$

FOLLOW(**S**) = { **\$** }

 $FOLLOW(\mathbf{E}) = \{ +, *,), \$ \}$

	int	+	*	()	\$ Е
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $E \rightarrow E + \cdot E \mid E \rightarrow E^* \cdot E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}|$

$$E \rightarrow E + E \cdot E \rightarrow E \cdot + E \rightarrow E \cdot * E$$

6

$$E \rightarrow E * E \cdot E \rightarrow (\cdot E)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid E \rightarrow \cdot E * E \mid E \rightarrow \cdot int \mid E \rightarrow \cdot (E)$$

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int}$$

FOLLOW(**S**) = { **\$** }

FOLLOW(**E**) = { **+**, *****, **)**, **\$** }

	int	+	*	()	\$ Е
1	s10					
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

$$E \rightarrow E + E \cdot E \rightarrow E \cdot + E \rightarrow E \cdot * E \rightarrow E \cdot * E$$

6

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$$
 .

Ε	\rightarrow	int	

FOLLOW(S) =	= { \$	}
-------------	---------------	---

	int	+	*	()	\$ Е
1	s10			s7		
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$$
 .

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int}$$

$FOLLOW(S) = {$	Ş	}
-----------------	---	---

	int	+	*	()	\$ Ε
1	s10			s7		s2
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

F	\rightarrow	int
_	,	1116

FOLLOW	(S)	= {	\$	}
---------------	-----	-----	----	---

	int	+	*	()	\$ Ε
1	s10			s7		s2
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int}$$

FOLLOW	(S) :	= { \$	}
--------	---------------	--------	---

$$FOLLOW(\mathbf{E}) = \{ +, *,), \$ \}$$

	int	+	*	()	\$ Е
1	s10			s7		s2
2		s3				
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

8

$$\begin{array}{c} \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot) \\ \mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot + \mathsf{E} \\ \mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot * \mathsf{E} \end{array}$$

$$\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int}$$

FOLLOW(**S**) = { **\$** }

 $FOLLOW(\mathbf{E}) = \{ +, *,), \$ \}$

	int	+	*	()	\$ Е
1	s10			s7		s2
2		s3	s4			
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$

Ε	\rightarrow	int	

10

FOLLOW(**S**) = { **\$** }

 $FOLLOW(\mathbf{E}) = \{ +, *,), \$ \}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E$.* E

6

8

$$\begin{array}{c} \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot) \\ \mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot + \mathsf{E} \\ \mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot * \mathsf{E} \end{array}$$

$$\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int} \; \cdot$$

FOLLOW	(S)	= {	[\$	}
---------------	-------------	-----	-----	---

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E * \cdot E$ $|E \rightarrow \cdot E + E|E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

	5	
E -	→ E + → E · → E ·	+ E

```
6
E \rightarrow E \cdot * E
```

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot + \not\models \mid_{E \rightarrow \cdot \mid E \mid + \mid E \mid \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} * \mathsf{E}|$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10						
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E * \cdot E$ $|E \rightarrow \cdot E + E|E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

		5		
Ε	\rightarrow \rightarrow \rightarrow	Ε	 + [Ξ

```
6
E \rightarrow E \cdot * E
```

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not\models |_{\mathsf{E} \to \mathsf{-} \cdot \mathsf{E} + \not\models \mathsf{-} \mathsf{E}} |_{\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not\models \mathsf{E}}$ $\mid \mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} * \mathsf{E} \mid$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Ε
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E * \cdot E$ $|E \rightarrow \cdot E + E|E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

		5		
Ε	\rightarrow \rightarrow \rightarrow	Ε	 + [=

6 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not \models |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} + \not \models |$ $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E}$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

$$E \rightarrow E + \cdot E E \rightarrow E * \cdot E$$

$$E \rightarrow \cdot E + E E \rightarrow \cdot E + E$$

$$E \rightarrow \cdot E * E E \rightarrow \cdot E * E$$

$$E \rightarrow \cdot \text{ int}$$

$$E \rightarrow \cdot \text{ int}$$

$$E \rightarrow \cdot \text{ int}$$

$$E \rightarrow \cdot \text{ (E)}$$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

6 $E \rightarrow E * E$ $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

Ε	→ (·E)
Ε	\rightarrow · E + E
Ε	\rightarrow · E * E
Ε	\rightarrow · int
F	$\rightarrow \cdot (F)$

$$\begin{array}{c} \textbf{8} \\ \textbf{E} \rightarrow (\textbf{E} \cdot) \\ \textbf{E} \rightarrow \textbf{E} \cdot + \textbf{E} \\ \textbf{E} \rightarrow \textbf{E} \cdot * \textbf{E} \end{array}$$

E o (E) .
10
$E \to int \; \cdot$

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E \cdot E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} | |\mathsf{E} \to \mathsf{E} \mathsf{E} + \mathsf{E}|$

 $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

 $E \rightarrow E + E \cdot$

```
6
E \rightarrow E \cdot * E
```

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot + \not\models \mid_{E \rightarrow \cdot \mid E + \mid E \mid \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} * \mathsf{E}|$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10						
5							
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E * \cdot E$ $|E \rightarrow \cdot E + E|E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

	5		
\rightarrow \rightarrow			- 1
\rightarrow			-

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot + \not\models \mid_{E \rightarrow \cdot \mid E \mid + \mid E \mid \mid}$ $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E}$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			
5							
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E^* \cdot E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} | |\mathsf{E} \to \mathsf{E} \mathsf{E} + \mathsf{E}|$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

 $E \rightarrow E + E \cdot$

6

$$E \rightarrow E * E \cdot E \rightarrow (\cdot E)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid E \rightarrow E \cdot + E \mid E \rightarrow E \mid E \rightarrow E \cdot + E \mid E \rightarrow E \mid$$

8 $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

FOLLOW(**S**) = { **\$** }

 $FOLLOW(\mathbf{E}) = \{ +, *,), \$ \}$

	int	+	*	()	\$	Ε
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5							
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int}$$

FOLLOW(**S**) = { **\$** }

FOLLOW(**E**) = { **+**, *****, **)**, **\$** }

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5							
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E * \cdot E$ $|E \rightarrow \cdot E + E|E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

	5		
$\begin{array}{c} E \to \\ E \to \\ E \to \end{array}$	Ε	 + E	

```
6
E \rightarrow E \cdot * E
```

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not\models |_{\mathsf{E} \to \mathsf{-} \cdot \mathsf{E} + \not\models \mathsf{-} \mathsf{E}} |_{\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not\models \mathsf{E}}$ $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E}$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3					
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$

 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E \cdot E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} | \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} |$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

 $E \rightarrow E + E$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot + \not\models \mid_{E \rightarrow \cdot \mid E + \mid E \mid \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E}|$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3	s4				
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E^* \cdot E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} | \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} |$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

 $E \rightarrow E + E$

```
6
E \rightarrow E \cdot * E
```

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot + \not\models \mid_{E \rightarrow \cdot \mid E + \mid E \mid \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} * \mathsf{E}|$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4				
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

$$S \rightarrow E$$
 2. $E \rightarrow E + E$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E^* \cdot E$ $| | E \rightarrow \cdot E + E | E \rightarrow \cdot E + E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \times \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} \times \mathsf{E}$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

		5			
EEE	\rightarrow \rightarrow \rightarrow	E E E	+	E + E	

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not \mathsf{E} |_{\mathsf{E} \to \cdot \cdot \mathsf{E} + \not \mathsf{E}} |_{\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not \mathsf{E}}$ $E \rightarrow E \cdot *E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E} *E \mid \mid_{E \rightarrow E \cdot *E}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2				
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

$$\begin{bmatrix}
E \rightarrow E * E \\
E \rightarrow E \cdot + E
\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
E \rightarrow (\cdot E) \\
E \rightarrow E \cdot * E
\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
E \rightarrow (E \cdot) \\
E \rightarrow E \cdot + E
\end{bmatrix}$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$E \rightarrow \cdot int$$

$$E \rightarrow \cdot (E)$$

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

$$\mathsf{E} o (\mathsf{E})$$

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int} \; \cdot$$

FOLLOW((S) =	{ \$ }
---------	---------------	--------

	int	+	*	()	\$	Ε
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2		
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

$$S \rightarrow E$$
 2. $E \rightarrow E + E$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E \cdot E$ $| | E \rightarrow \cdot E + E | E \rightarrow \cdot E + E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \times \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} \times \mathsf{E}$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5	
$E \rightarrow E + E$ $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$	

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot *E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E} *E \mid \mid_{E \rightarrow E \cdot *E}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

8

$$\begin{array}{c} \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot) \\ \mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot + \mathsf{E} \\ \mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot * \mathsf{E} \end{array}$$

$$\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int}$$

FOLLOW	(S)) = {	 \$	}
--------	-------------	-------	-------------	---

FOLLOW(**E**) = { **+**, *****, **)**, **\$** }

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6							
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$

 $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3					
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

$$S \rightarrow \cdot E$$
 2. $E \rightarrow E + E$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E \cdot E$ $| | E \rightarrow \cdot E + E | E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E | E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

		5			
				E + E	
Ε	\rightarrow	Ε	. *	Ε	

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not\mathsf{E}|_{\mathsf{E} \to \cdot \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}} |_{\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \mathsf{E}}$ $E \rightarrow E \cdot *E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E} *E \mid \mid_{E \rightarrow E \cdot *E}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3	s4				
7							
8							
9							
10							
6 7 8 9		r2	r2		r2	r2	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E^* \cdot E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} | |\mathsf{E} \to \mathsf{E} \mathsf{E} + \mathsf{E}|$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot + \not\models \mid_{E \rightarrow \cdot \mid E + \mid E \mid \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} * \mathsf{E}|$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4				
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

$$S \rightarrow E$$
 2. $E \rightarrow E + E$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E \cdot E$ $| | E \rightarrow \cdot E + E | E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E | E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5	
$E \rightarrow E + E$ $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$	

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not\mathsf{E}|_{\mathsf{E} \to \cdot \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}} |_{\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \mathsf{E}}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3				
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2.
$$E \rightarrow E + E$$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E^* \cdot E$ $|E \rightarrow \cdot E + E|E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

	5		
\rightarrow \rightarrow			
\rightarrow			

		0			
E	\rightarrow	E	*	E	
E	\rightarrow	E ·	*	E	F

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E})$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}| |\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{F}'\mathsf{E}|$ $\mathsf{E} \to \mathsf{E} \mathsf{E} \mathsf{E}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $| E \rightarrow (E \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3		
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

$$2. \quad \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

$$E \rightarrow E * E | E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E | E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E | E$$

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} o (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int} \; \cdot$$

FOLLOW(S)	= { \$	}
-----------	--------	---

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $E \rightarrow E + \cdot E \mid E \rightarrow E * \cdot E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot|$

6 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot + \not\models \mid_{E \rightarrow \cdot \mid E + \mid E \mid \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} * \mathsf{E}|$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} o (\mathsf{E})$. 10

 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*)	&	Ш
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7							
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10						
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$

 $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

$$E \rightarrow E * E \cdot E \rightarrow (\cdot E)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E \rightarrow \cdot E + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E \rightarrow \cdot E * E$$

$$E \rightarrow \cdot int$$

$$E \rightarrow \cdot (E)$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} o (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int} \; \cdot$$

FOLLOW(S)	= {	\$	}
-----------	-----	----	---

 $FOLLOW(\mathbf{E}) = \{ +, *,), \$ \}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $2. \quad \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

```
6
```

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} o (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Ε
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$

 $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} o (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8							
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$

```
6
```

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} o (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3					
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

$$S \rightarrow \cdot E$$
 2. $E \rightarrow E + E$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E \cdot E$ $| | E \rightarrow \cdot E + E | E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E | E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

+ E ·
· + E
· * E
֡

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not\mathsf{E}|_{\mathsf{E} \to \cdot \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}} |_{\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \mathsf{E}}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} o (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4				
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

$$E \rightarrow E * E \cdot E \rightarrow E \cdot + E \rightarrow E \cdot * E$$

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} o (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $2. \quad \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$

 $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

$$E \rightarrow E * E | E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E | E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E | E$$

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} o (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

FOLLOW(**S**) = { **\$** }

FOLLOW(**E**) = { **+**, *****, **)**, **\$** }

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9							
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $2. \quad \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Ε
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4					
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $2. \quad \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$

 $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4				
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} | \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$

 $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4		
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

6

$$\begin{bmatrix}
E \rightarrow E * E \\
E \rightarrow E \cdot + E
\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
E \rightarrow (\cdot E) \\
E \rightarrow \cdot E + E
\end{bmatrix}$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$E \rightarrow \cdot E * E$$

$$E \rightarrow \cdot int$$

$$E \rightarrow \cdot (E)$$

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} o (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int} \; \cdot$$

FOLLOW(S) =	= { \$	}
-------------	---------------	---

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		\$9		
9		r4	r4		r4	r4	
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E \cdot \cdot E \mid |E \rightarrow E + E \cdot |$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} | \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

FOLLOW(**S**) = { **\$** } FOLLOW(**E**) = { **+**, *****, **)**, **\$** }

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10							

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

$$S \rightarrow \cdot E$$
 2. $E \rightarrow E + E$

3.
$$E \rightarrow E \star E$$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E^* \cdot E$ $| | E \rightarrow \cdot E + E | E \rightarrow \cdot E + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E | E \rightarrow \cdot E * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

	5		
$\overline{E} o \overline{E} o$			- 1
$E \to$			

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \not\mathsf{E}|_{\mathsf{E} \to \cdot \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}} |_{\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+} \mathsf{E}}$ $E \rightarrow E \cdot *E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E} *E \mid \mid_{E \rightarrow E \cdot *E}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5					

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} | \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $E \rightarrow int$.

FOLLOW(**S**) = { **\$** } FOLLOW(**E**) = { **+**, *****, **)**, **\$** }

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5				

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

$$S \rightarrow \cdot E$$
 2. $E \rightarrow E + E$

$$4. E \rightarrow (E)$$

5.
$$E \rightarrow int$$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E \cdot E$ $| | E \rightarrow \cdot E + E | E \rightarrow \cdot E + E$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} \times \mathsf{E}| = \mathsf{E} \to \mathsf{E} \times \mathsf{E}$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5	
E → E + E → E ·	I
$E \to E$.	

6

8

	0
E	→ (E) ·
	10
E	\rightarrow int \cdot

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5		

 $S \rightarrow \cdot E$ $\mathsf{E} \to \cdot \; \mathsf{E} + \mathsf{E}$ $E \rightarrow \cdot E * E$ $\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

 $S \to E \cdot$ $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}| \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} | \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $E \rightarrow int$.

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

igl| 2. $m{\mathsf{E}}
ightarrow m{\mathsf{E}} + m{\mathsf{E}}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$

```
6
```

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $2. \quad \mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}$

3. $E \rightarrow E \star E$

 $4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$

 $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|E \rightarrow E \cdot + \not\models |_{E \rightarrow \cdot \cdot \cdot \mid E + \not\models \mid \mid E \rightarrow E \cdot + \mid E \mid}$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E * E \mid}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} o (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

FOLLOW(**S**) = { **\$** } FOLLOW(**E**) = { **+**, *****, **)**, **\$** }

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

Resolving Ambiguity

- Although the grammar is ambiguous, there is clearly one intended parse tree because of operator precedence.
- How can we use this precedence information to avoid LR conflicts?

Precedence Declarations

- Tell the parser generator about the associativity and precedence of certain rules.
- Productions can be left-associative, right-associative, or nonassociative.
- Productions can have their priorities ranked against one another.

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

- 1. $S \rightarrow E$
- 2. $E \rightarrow E + E$
- 3. $E \rightarrow E \star E$
- 4. $E \rightarrow (E)$
 - 5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

5

$$E \rightarrow E + E \cdot E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

6

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot + E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$\mathsf{E} o (\mathsf{E})$$
 .

10

$$\mathsf{E} \to \mathsf{int} \; \cdot$$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $F \rightarrow \cdot int$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E = 3$. $E \rightarrow E * E$ (Left-assoc, pri. 1)

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

 $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

6	
$E \rightarrow E * E$ $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$	-

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad \big| \, \big| \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}| |\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot + \mathsf{E}|$ $E \rightarrow \cdot E * E \mid E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int

8

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$

 $\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E = 3$. $E \rightarrow E * E$ (Left-assoc, pri. 1)

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E |E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

	6	
Ε		
Ε	\rightarrow E · +	Ė
Ε	$\rightarrow E \cdot * \; E$	

0	'	
E → E * E E → E · + [E → E · * E	$ \begin{array}{c c} $	

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$

 $\mid \mathsf{E} \to (\mathsf{E}) \cdot$ 10 $E \rightarrow int$.

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4 r2		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $\stackrel{\mathsf{E}}{=} \stackrel{\cdot}{=} \stackrel{\mathsf{E}}{=} \stackrel{\mathsf{E}}{=} \stackrel{\mathsf{E}}{=} 3. \; \mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} \star \mathsf{E} \quad (\text{Left-assoc, pri. 1})$

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid \mid E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow E \mid \mid E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E}| \cdot |\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | |\mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot) |$ $\begin{bmatrix}
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow \cdot E + E
\end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix}
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow \cdot E \cdot + E
\end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix}
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow E \cdot + E
\end{bmatrix}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int

8

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E = 3$. $E \rightarrow E * E$ (Left-assoc, pri. 1)

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid \mid E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow E \mid \mid E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

		6			
Ε	$\begin{array}{c} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array}$	Ε	*	Ε	
Ε	\rightarrow	Ε		+ [E
Ε	\rightarrow	E ·	*	Ε	

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad \big| \, \big| \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}| |\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot + \mathsf{E}|$ $E \rightarrow \cdot E * E \mid E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \rightarrow \cdot \mathsf{int}|$

8

s2
s5
s6
s8

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$

 $\mathsf{E} \to \mathsf{C}(\mathsf{E})$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E = 3$. $E \rightarrow E * E$ (Left-assoc, pri. 1)

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E$$
.
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

6	
$E \rightarrow E * E$ $E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$	- E

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad \big| \, \big| \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}| |\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+}'\mathsf{E}|$ $E \rightarrow \cdot E * E \mid E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \rightarrow \cdot \mathsf{int}|$

8

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4		r2	r2	
6		s3 r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $S \rightarrow E$ **2.** $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $\stackrel{\mathsf{E}}{=} \stackrel{\cdot}{=} \stackrel{\mathsf{E}}{=} \stackrel{\mathsf{E}}{=} \stackrel{\mathsf{E}}{=} 3. \; \mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} \star \mathsf{E} \quad (\text{Left-assoc, pri. 1})$

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid \mid E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow E \mid \mid E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E}| \cdot |\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | |\mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot) |$ $\begin{bmatrix}
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow \cdot E + E
\end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix}
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow \cdot E \cdot E
\end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix}
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow E \cdot E
\end{bmatrix}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int

8

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4		r2	r2	
6		r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $S \rightarrow E$ **2.** $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E = 3$. $E \rightarrow E * E$ (Left-assoc, pri. 1)

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E$$
:
 $E \rightarrow E$:+ E
 $E \rightarrow E$:* E

 $|\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid \mid E \rightarrow E \cdot + E \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

	6			
\rightarrow	Ε	*	Ε	

 $\mathsf{E} \, * \, \mathsf{E} \, | \cdot \, | \mathsf{E} \rightarrow (\cdot \mathsf{E}) \qquad | \, | \, \mathsf{E} \rightarrow (\mathsf{E} \, \cdot \,)$ $\mid E \rightarrow \cdot \text{ int} \mid$

8

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4		r2	r2	
6		r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $S \rightarrow E$ **2.** $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E = 3$. $E \rightarrow E * E$ (Left-assoc, pri. 1)

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid \mid E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow E \mid \mid E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

6

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E}| \cdot |\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | |\mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot) |$ $\begin{bmatrix}
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow \cdot E + E
\end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix}
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow \cdot E \cdot + E
\end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix}
E \rightarrow E \cdot + E \\
E \rightarrow E \cdot + E
\end{bmatrix}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int

8

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4		r2	r2	
6		r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $S \rightarrow E$ **2.** $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E = 3$. $E \rightarrow E * E$ (Left-assoc, pri. 1)

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \rightarrow \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

6	
$E \rightarrow E * E$ $E \rightarrow E \cdot + I$ $E \rightarrow E \cdot * E$	E

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad \big| \, \big| \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}| |\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot + \mathsf{E}|$ $E \rightarrow \cdot E * E \mid E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int

8

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		r2	s4		r2	r2	
6		r3	r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

 $S \rightarrow E$ **2.** $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E = 3$. $E \rightarrow E * E$ (Left-assoc, pri. 1)

 $E \rightarrow \cdot \text{ int } \qquad 4. E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|E \rightarrow E + \cdot E|E \rightarrow E \cdot \cdot E | |E \rightarrow E + E \cdot$ $E \rightarrow E \cdot + E \mid \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid E \rightarrow \cdot E + E \mid \mid E \rightarrow E \cdot + E$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

E → E * E .			6			
$E \rightarrow E * E \cdot E \cdot E \rightarrow E \cdot * E \cdot E \cdot E \rightarrow E \cdot * E \cdot E$	E E E	\rightarrow \rightarrow \rightarrow	E E	*	E + [E

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad \big| \, \big| \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ |E → · E + E | E → È ·+ E $E \rightarrow \cdot E * E \mid E \rightarrow E \cdot * E$ $\mid E \rightarrow \cdot \text{ int } \mid$

8

	int	+	*	()	\$	Ш
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		r2	s4		r2	r2	
6		r3	r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. S → E

2. $E \rightarrow E + E$ (Rgt.-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E \mid 3$. $E \rightarrow E * E$ (Rgt.-assoc, pri. 1

 $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ 4. $E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$

 $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

E → E * E .	6	
$E \rightarrow E \cdot + E$ $E \rightarrow E \cdot * E$	E → E * E · E → E · + E E → E · * E	

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad \big| \, \big| \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ |E → · E + E | E → È ·+ E $E \rightarrow \cdot E * E \mid E \rightarrow E \cdot * E$ $\mid E \rightarrow \cdot \text{ int } \mid$

8

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4		r2	r2	
6		r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$ (Rgt.-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E \mid 3$. $E \rightarrow E * E$ (Rgt.-assoc, pri. 1

 $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ 4. $E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E |E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot *E \mid \mid_{E \rightarrow \cdot E} *E \mid \mid_{E \rightarrow E \cdot *E}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int

8

 $\mid \mathsf{E}
ightarrow (\mathsf{E}) \cdot$ 10 $E \rightarrow int$.

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3 r2	s4		r2	r2	
6		r3	s4 r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. S → E

2. $E \rightarrow E + E$ (Rgt.-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E \mid 3$. $E \rightarrow E * E$ (Rgt.-assoc, pri. 1

 $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ 4. $E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot int$ $E \rightarrow \cdot int$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

		6			
Ε	\rightarrow \rightarrow	Ε	*	Ε	
Ε	\longrightarrow	Ε		+ [E
Ε	\rightarrow	E ·	*	Ε	

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad \big| \, \big| \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{E} + \mathsf{E}| |\mathsf{E} \to \mathsf{E} \cdot \mathsf{+}'\mathsf{E}|$ $E \rightarrow \cdot E * E \mid E \rightarrow E \cdot * E$ $\mid E \rightarrow \cdot \text{ int } \mid$

8

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3	s4		r2	r2	
6		r3	s4		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. S → E

2. $E \rightarrow E + E$ (Rgt.-assoc, pri. 0)

 $E \rightarrow E + E \mid 3$. $E \rightarrow E * E$ (Rgt.-assoc, pri. 1

 $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ 4. $E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot |$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

		6			
Ε	\rightarrow \rightarrow \rightarrow	Ε	*	Ε	
Ε	\longrightarrow	Е		+ [Ε
Ε	\longrightarrow	E ·	*	Ε	

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad \big| \, \big| \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ |E → · E + E | E → È ·+ E $E \rightarrow \cdot E * E \mid E \rightarrow E \cdot * E$ $\mid E \rightarrow \cdot \text{ int } \mid$

8

 $|\mathsf{E} \to (\mathsf{E})|$ 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		s3	s4		r2	r2	
6		r3	s4		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

Resolving Conflicts with Precedence

- When choosing whether to reduce a rule containing t or shift the terminal r:
 - If t has higher priority, reduce.
 - If r has higher priority, shift.
 - If t and r have the same priority:
 - If t is left-associative, reduce.
 - If t is right-associative, shift.

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

3. $E \rightarrow E \star E$ (Left-assoc, pri.1)

 $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ 4. $E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$
 $E \rightarrow E \cdot + E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E} \cdot$ $\mid \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mathsf{E} \, o \, \cdot \, \mathsf{E} \, + \, \mathsf{E} \mid \mid \mathsf{E} \, o \, \mathsf{E} \, \cdot \, + \, \mathsf{E} \mid$ $|E \rightarrow \cdot E * E |E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$ $E \rightarrow \cdot \text{ int}$

 $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

6

 $\mathsf{E} \to \mathsf{E} * \mathsf{E} | \cdot | \mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad | | \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot)$ $E \rightarrow E \cdot * E \mid \stackrel{-}{\mid}_{E} \rightarrow \cdot E * E \mid$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int

8

$$E \rightarrow (E \cdot)$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

$$E \rightarrow E \cdot * E$$

 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$.

10

	int	+	*	()	\$	Е
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		r2	s4		r2	r2	
6		r3	r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

$$S \rightarrow \cdot E$$

 $E \rightarrow \cdot E + E$
 $E \rightarrow \cdot E * E$
 $E \rightarrow \cdot int$
 $E \rightarrow \cdot (E)$

1. $S \rightarrow E$

2. $E \rightarrow E + E$ (Left-assoc, pri. 0)

3. $E \rightarrow E \star E$ (Left-assoc, pri .1)

 $E \rightarrow int$ 4. $E \rightarrow (E)$

5. $E \rightarrow int$

$$S \rightarrow E \cdot$$

 $E \rightarrow E \cdot * E$
 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $|\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \cdot \mathsf{E}|\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E} \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E} + \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E}^* \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* + \mathsf{E}^* + \mathsf{E}^* + \mathsf{E}^* + \mathsf{E}^* \cdot \mathsf{E}^* \mid |\mathsf{E} \to \mathsf{E}^* + \mathsf{$ $|E \rightarrow \cdot E + E|E \rightarrow \cdot E + E|E \rightarrow E \cdot + E|$ $|E \rightarrow \cdot E * E|E \rightarrow \cdot E * E | |E \rightarrow E \cdot * E$ $|\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}| \quad |\mathsf{E} \to \cdot \mathsf{int}|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$ $|\mathsf{E} \to \cdot (\mathsf{E})|$

5

6	
$E \rightarrow E * E$ $E \rightarrow E \cdot + I$ $E \rightarrow E \cdot * E$	- E

 $\mathsf{E} \to (\cdot \mathsf{E}) \qquad \big| \, \, \big| \, \mathsf{E} \to (\mathsf{E} \cdot) \, \big|$ |E → · E + E | E → È ·+ E $\mathsf{E} \to \mathsf{E} \mathsf{E} \mathsf{E}$ $|\mathsf{E} \to \cdot|$ int

8 $E \rightarrow E \cdot * E$

 $\mathsf{E} \to (\mathsf{E})$. 10 $\mathsf{E} \to \mathsf{int}$

)	int	+	*	()	\$	Ш
1	s10			s7			s2
2		s3	s4			acc	
3	s10			s7			s5
4	s10			s7			s6
5		r2	s4		r2	r2	
6		r3	r3		r3	r3	
7	s10			s7			s8
8		s3	s4		s 9		
9		r4	r4		r4	r4	
10		r5	r5		r5	r5	

Error Handling

- What should the parser do when it encounters an error?
- Could just say "syntax error," but we'd like more detailed messages.
- How do we resume parsing after an error?

Error Productions

- One idea: add productions to the grammar that identify common mistakes.
- For example:

```
E \rightarrow E + E
E \rightarrow E * E
E \rightarrow int
\mathsf{E} \to (\mathsf{E})
E \rightarrow E E (error production)
E \rightarrow E + (error production)
E → E *(error production)
```

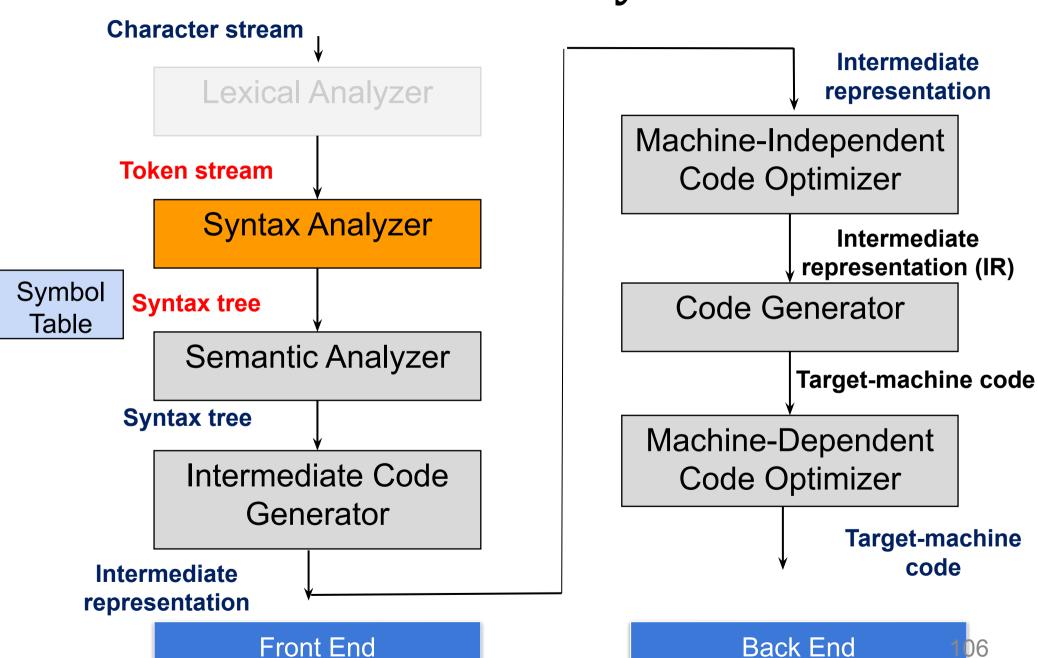
Analysis of Error Productions

- Useful for diagnosing common programmer mistakes.
 - More likelihood for ambiguity.
 - More likelihood grammar won't be accepted by parser generator (i.e. not LALR(1))

Using Panic Mode

Reading Exercise from Chapter 4.

Summary



Next Lecture

